



Monografía 12

Consumo de energía y emisiones asociadas al transporte por coche y camión

*Energy consumption and emissions associated with
transportation by car and truck*

José María López Martínez
Javier Sánchez Alejo

Consumo y emisiones asociadas al transporte por coche y camión

Energy consumption and emissions associated with transportation by car and truck

José María López Martínez

Javier Sánchez Alejo

Universidad Politécnica de Madrid

<http://www.enertrans.es>

© José María López Martínez, Javier Sánchez Alejo

© De esta edición, Grupo Gestor del Proyecto EnerTrans, 2008

ISBN: 978-84-89649-45-3

Depósito Legal: M-13501-2009

Esta monografía ha sido redactada por sus autores en el marco del Proyecto de Investigación “*Desarrollo de un modelo de cálculo y predicción de los consumos energéticos y emisión del sistema de transporte que permita valorar la sensibilidad de los consumos a las decisiones de inversión en infraestructura y de política de transporte*”(EnerTrans).

El proyecto *EnerTrans* ha sido desarrollado por los siguientes organismos: Fundación de los Ferrocarriles Españoles, Universidad Pontificia Comillas de Madrid, Universidad Politécnica de Madrid-INSIA; Universidad de Castilla-La Mancha; ALSA; Fundación General de la Universidad Autónoma de Madrid; Fundación “Agustín de Betancourt”; Fundación Universidad de Oviedo.

El proyecto *EnerTrans* contó con una ayuda económica del Centro de Experimentación de Obras Públicas (CEDEX) dentro de su primer programa de ayudas (2006).

El proyecto *EnerTrans* estuvo dirigido por su investigador principal Alberto García Álvarez con el apoyo de un “Comité Científico” del que formaron parte las siguientes personas: Alberto García Álvarez (Fundación de los Ferrocarriles Españoles); Ignacio Pérez Arriaga y Eduardo Pilo de la Fuente (Universidad Pontificia Comillas de Madrid); José María López Martínez (Universidad Politécnica de Madrid-INSIA); Alberto Cillero Hernández y Carlos Acha Ledesma (ALSA); Timoteo Martínez Aguado y Aurora Ruiz Rúa (Universidad de Castilla-La Mancha); José Miguel Rodríguez Antón y Luis Rubio Andrada (Fundación General de la Universidad Autónoma de Madrid); Manuel Cegarra Plané (Fundación “Agustín de Betancourt”) y Rosa Isabel Aza y José Francisco Baños Pino (Fundación Universidad de Oviedo). El coordinador del proyecto por parte del CEDEX fue Antonio Sánchez Trujillano.

The aim of the EnerTrans research project is to obtain an accurate model to find out the energy consumption (and associated emissions) of the Spanish transport system, according to the important variables on which it depends, and thereby avoid the need to extrapolate historical data series calculated with various methodologies in the European sphere for each mode of transport. The participants include various universities and foundations linked to different modes of transport: Fundación de los Ferrocarriles Españoles, Universidad Politécnica de Madrid-INSIA, Universidad de Castilla-La Mancha, ALSA, Universidad Pontificia de Comillas de Madrid, Fundación General de la Universidad Autónoma de Madrid, Fundación Agustín de Betancourt and Fundación Universidad de Oviedo.

The project has involved constructing a model which can be used to explain and predict energy consumption (and associated emissions) in the Spanish transport system, using a coherent methodology for all modes, considering all energy utilizations (construction, operation, maintenance, movement) and the whole energy cycle from source to final use, thus allowing the effects of the results of infrastructure or transport policy to be anticipated and evaluated. As a secondary objective, the project will permit assessment of the impact of any type of technical or operational measure aimed at reducing this energy consumption, which will be useful for transport operators.

It includes innovations such as taking into consideration different routes between the same points for each one of the different modes of transport, or separating consumption from load or space utilization coefficients.

The published documents corresponding to the EnerTrans project fall into three categories: Monographs, Articles and Technical notes.



Con la subvención del Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (Ministerio de Fomento), número de proyecto PT-2006-006-01IASM.

ÍNDICE

ÍNDICE.....	3
1. USO DEL VEHÍCULO	4
1.1.1 Introducción.....	4
1.1.2 Presentación del modelo: Objetivo, alcance y metodología	5
1.1.3 Construcción del modelo.....	6
1.1.4 Criterios	14
1.1.5 Fórmulas resultantes	14
1.1.6 Validación del modelo.....	21
1.1.7 Ajustes y variables más influyentes	36
1.1.8 Consumos en frío	42
1.1.9 Consumos de auxiliares	49
1.1.10 Resultados	52
BIBLIOGRAFÍA	61
LISTA DE TABLAS Y FIGURAS.....	63

1. USO DEL VEHÍCULO

1.1.1 Introducción

En este estudio se analiza los consumos y emisiones correspondientes al movimiento de vehículos de transporte por carretera. Esta etapa del ciclo de vida de los automóviles es la más importante, pues es la que supone unos mayores requerimientos energéticos (alrededor de un 85% del total de vida útil). También es el eje central del proyecto EnerTrans.

Se ha construido un modelo matemático de predicción de consumos y emisiones mediante las herramientas GaBi 4 y MatLab. Gracias a este último, se ha podido identificar las características de los vehículos y de tráfico que más influyen en dichos consumos, para finalmente obtener una fórmula con la que se puede predecir de forma fácil y rápida la cantidad de combustible necesaria para un determinado trayecto y las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas.

Uno de los inconvenientes de los vehículos automóviles es que la modelización de consumos es tremendamente complicada por la gran cantidad de variables de las que depende.

Si se plantea el objetivo de calcular el consumo para que una persona se desplace de un punto a otro, se puede observar algunas de las variables casi aleatorias que intervienen:

- La gran cantidad de trayectorias alternativas que existen para un mismo recorrido en línea recta.
- La gran cantidad de situaciones de tráfico posibles de un sitio a otro, e incluso en el mismo sitio a diferentes horas del día.
- El comportamiento del conductor, que a pesar de seguir ciertos patrones en la mayoría de los casos, es prácticamente aleatorio y difícil de predecir.
- La ingente cantidad de modelos y versiones disponibles.

Esto supone que la eficiencia de los motores térmicos en condiciones normales de conducción sea enormemente variable, lo que hace muy complicado la construcción de un modelo totalmente teórico que relacione las resistencias al movimiento con los consumos reales, ya que en cualquier caso siempre se obtiene un error considerable. Hay una variedad casi infinita de resultados posibles.

Con estas consideraciones se ha construido un modelo que pretende ser un término medio entre totalmente empírico y totalmente teórico, con el fin de satisfacer con un compromiso aceptable los objetivos planteados para esta monografía.

Afortunadamente, esta etapa del ciclo de vida de los automóviles es la que mayor atención ha recibido hasta el momento por ser la más relevante, y en la que más esfuerzos siguen teniendo que dedicarse para reducir las emisiones. Por ello, la mayor cantidad de información disponible hasta el momento se centra en esta fase, y en el modelado de consumos según diferentes objetivos, aunque siempre buscando la mayor exactitud posible con la realidad.

1.1.2 Presentación del modelo: Objetivo, alcance y metodología

Objetivo:

El objetivo del presente estudio es elaborar un modelo de consumos y emisiones asociados al movimiento de vehículos de transporte por carretera, tanto de personas (turismos), como de mercancías (furgonetas, camiones, etc.)

El objetivo general del proyecto EnerTrans con respecto a esta etapa del ciclo de vida del automóvil es construir un modelo que permita:

Predecir de forma fácil y rápida consumos de combustible en un trayecto dado, con el fin de poder comparar dichos consumos con los correspondientes a otros modos de transporte

Ser relativamente independiente de la tecnología actual para poder hacer proyecciones en el futuro.

El primer objetivo se debe a la intención de que el modelo sirva para tomar decisiones a nivel de políticas regionales o estatales encaminadas a reducir las emisiones de efecto invernadero, para lo cual debe ser lo más sencillo y con las conclusiones más directas posibles.

El segundo objetivo se explica por la intención de obtener un modelo independiente de las tecnologías. Esto es importante, ya que actualmente vivimos en un momento en que éstas empiezan a cambiar de forma relativamente rápida, circunstancia motivada por la mayor concienciación ambiental de la sociedad y por la subida del precio de los carburante, evolucionando hacia formas de transporte más sostenible.

Por ello este estudio busca obtener un modelo que pueda satisfacer en lo posible estos dos objetivos, con el menor error que se pueda conseguir.

En cuanto a las emisiones, el proyecto EnerTrans se restringe a los gases de efecto invernadero, sobre todo el CO₂, aunque se proporcionará información sobre otros tipos de emisiones cuando sean relevantes.

Metodología y alcance:

La metodología ha sido la siguiente:

Se ha tomado como unidad funcional un vehículo y se ha buscado relacionar sus características, tales como la motorización, la cilindrada, el peso, etc., con la cantidad de combustible necesaria para que dicho vehículo recorra un determinado trayecto. Esto se corresponde con un acercamiento teórico.

Por otro lado, para no perder de vista que el consumo tiene una componente prácticamente aleatoria como se ha comentado en la introducción, se ha buscado relacionar características del trayecto con medidas experimentales realizadas previamente por otros proyectos y cuya información ha sido enormemente útil para el desarrollo del presente modelo. Esto se corresponde más con un acercamiento de ajuste estadístico.

El inconveniente de utilizar un acercamiento puramente teórico es que no se tienen en cuenta circunstancias de recorrido y/o tráfico virtualmente aleatorias, con lo que el error cometido es considerable. El inconveniente de un acercamiento puramente estadístico es que los resultados obtenidos apenas pueden aplicarse a un caso

general, quedando restringidos a la muestra estudiada en unas condiciones determinadas.

Así, se ha obtenido una fórmula que aúna las ventajas de los dos planteamientos, y que expresa los consumos y las emisiones de CO₂ en función de las características más importantes del vehículo y de la velocidad media del trayecto. Existe una expresión para cada segmento. Más adelante se explica detalladamente la clasificación que se ha seguido.

El alcance de este estudio comprende las diferentes causas de consumo, las cuales se ha identificado como las siguientes:

- **Movimiento normal:** Consumo en caliente. Comienza en el momento en que el motor funciona a su temperatura nominal, y termina cuando se apaga.
- **Arranque:** Consumo en frío. Corresponde a la arrancada y parte del trayecto en que el motor todavía no ha llegado a su temperatura nominal.
- **Auxiliares:** Corresponde a la utilización de dispositivos adicionales que normalmente están encaminados a incrementar el confort del conductor y los pasajeros. La principal fuente de consumo extra es el aire acondicionado.

Existe una cuarta fuente de emisiones: las evaporativas, que corresponden a la evaporación de compuestos orgánicos volátiles (COV's) presentes principalmente en la gasolina, y que tienen lugar sobre todo cuando el coche está estacionado, pero también cuando está en movimiento. Este tipo de emisión no se ha estudiado por quedar fuera del alcance general del proyecto EnerTrans.

1.1.3 Construcción del modelo

En este apartado se explica cómo se ha ideado y construido el modelo correspondiente a consumos y emisiones en caliente. Los consumos y emisiones en frío y de auxiliares se calculan de forma diferente, como se verá en su apartado respectivo.

La primera intención con la que se abordó la construcción del modelo fue la de intentar obtener una fórmula con la que a partir de una serie de variables representativas fácilmente localizables, se pudiera predecir el consumo medio de un vehículo, ya fuera de uso privado o profesional.

Dado que este proyecto partía con la intención de abarcar la mayor cantidad posible de vehículos con el objetivo de que la fórmula obtenida al final fuera aplicable al mayor número posible de ellos, se optó por buscar datos referentes a todos los modelos que se venden actualmente en el mercado, de forma que se pudieran relacionar sus características con consumos hallados experimentalmente. A este respecto, se debe señalar que la mayor base de datos de medidas sobre consumos está constituida por los valores obtenidos a partir del ensayo obligatorio para la homologación del vehículo, a través de un ciclo de conducción perfectamente definido, llamado Ciclo Europa (NEDC, New European Driving Cycle). Dicho ensayo es común para todos los países europeos.

Sin embargo, dichos datos cuentan con una limitación importante, y es que no reflejan con demasiada exactitud unas condiciones reales de conducción, inconveniente por los que el ensayo es criticado a menudo. Debido a esto, se

buscaron fuentes de información alternativas, como el programa COPERT IV, el HBEFA o la herramienta adquirida para el proyecto EnerTrans, el GaBi 4. Estas fuentes presentaban la ventaja de estar constituidas por ensayos en banco o en ruta, por lo que los resultados eran, a priori, más reales. Sin embargo, la presentación de los informes finales respectivos se han hecho de tal forma que los resultados están clasificados por segmentos y ofrecen muy poca información sobre las características de cada vehículo en concreto, por lo que se descartaron.

Para decidir cuál era la fuente de información más apropiada, se realizó una comparación con distintos criterios, para cada segmento previsto, la cual se muestra en las páginas siguientes:

Turismos y TT

Modelo	Datos homologados	HBEFA	COPERT
Características del vehículo. Cantidad de datos disponibles	Hasta 3829 modelos reales.	5 categorías: 3 gasolina y 2 diesel por cilindrada.	5 categorías: 3 gasolina y 2 diesel por cilindrada.
Consumos. Cantidad de datos disponibles:	3 datos por vehículo, en función del ciclo de conducción.	3 datos por vehículo, en función del ciclo de conducción	Infinito. Consumo en función de la velocidad.
Emisiones. Cantidad de datos disponibles:	1 dato por vehículo	3 datos por vehículo, en función del ciclo de conducción	Infinito. Emisiones en función de la velocidad
Consumos y emisiones. Fiabilidad de los datos:	Media. Medida experimental pero ciclo no real.	Alta. Medida experimental, Ciclo de conducción real.	Alta. Medida experimental, Ciclo de conducción real.
Consumos y emisiones. Datos actualizados	Sí, últimos datos disponibles	Relativamente, última actualización hace varios años.	Relativamente, última actualización hace varios años.
Consumo. Ajuste del modelo.	Regresión múltiple a partir de los datos homologados.	Método directo para coeficientes de velocidad. Ajuste de coeficientes de características del vehículo.	Método directo para coeficientes de velocidad. Ajuste de coeficientes de características del vehículo.
Normativa de emisiones	Sólo vehículos actualmente en venta: EURO 4.	Actual y anteriores	Actual y anteriores

Vehículos N1

Modelo	Datos homologados	HBEFA	COPERT
Características del vehículo. Cantidad de datos disponibles	Unos 370 modelos reales.	6 categorías: 3 gasolina y 6 diesel (N1-I, N1-II y N1-III)	2 categorías: 1 gasolina y 1 diesel (<3,5 t)
Consumos. Cantidad de datos disponibles:	3 datos por vehículo, en función del ciclo de conducción.	3 datos por vehículo, en función del ciclo de conducción	Infinito. Consumo en función de la velocidad.
Emisiones. Cantidad de datos disponibles:	1 dato por vehículo	3 datos por vehículo, en función del ciclo de conducción	Infinito. Emisiones en función de la velocidad
Consumo. Fiabilidad de los datos:	Media. Medida experimental pero ciclo no real.	Alta. Medida experimental, Ciclo de conducción real.	Alta. Medida experimental, Ciclo de conducción real.
Consumos y emisiones. Datos actualizados	Sí, últimos datos disponibles	Relativamente, última actualización hace varios años.	Relativamente, última actualización hace varios años.
Consumo. Ajuste del modelo.	Regresión múltiple a partir de los datos homologados.	Método directo para coeficientes de velocidad. Ajuste de coeficientes de características del vehículo.	Método directo para coeficientes de velocidad. Ajuste de coeficientes de características del vehículo.
Normativa de emisiones	Sólo vehículos actualmente en venta: EURO 4.	Actual y anteriores	Actual y anteriores

Vehículos N2 Y N3

Modelo	Datos homologados	HBEFA	COPERT
Características del vehículo. Cantidad de datos disponibles	1 vehículo disponible	11 categorías.	14 categorías.
Consumos. Cantidad de datos disponibles:	6 velocidades medias diferentes	3 datos por vehículo, en función del ciclo de conducción	Infinito. Consumo en función de la velocidad.
Emisiones. Cantidad de datos disponibles:	No hay datos disponibles.	3 datos por vehículo, en función del ciclo de conducción	Infinito. Emisiones en función de la velocidad
Consumo. Fiabilidad de los datos:	Alta. Medición experimental en ciclo de conducción real.	Alta. Medición experimental en ciclo de conducción real.	Alta. Medición experimental en ciclo de conducción real.
Consumos y emisiones. Datos actualizados	Sí, realización del experimento en 2007	Sí, última actualización en 2004	Relativamente, última actualización hace varios años.
Consumo. Ajuste del modelo.	No hay. Sólo 1 vehículo representado.	Método directo para coeficientes de velocidad. Ajuste de coeficientes de características del vehículo.	Método directo para coeficientes de velocidad. Ajuste de coeficientes de características del vehículo.
Normativa de emisiones	Sólo vehículo probado: EURO 4.	Actual y anteriores	Actual y anteriores

Según estas premisas, se elaboró una matriz de decisión para decidir cuál de las tres alternativas era la mejor para este caso. Se muestra la valoración dada a cada alternativa para cada criterio, en escala de 1 al 3, siendo 3 la mejor valoración.

Turismos, TT y vehículos N1

Modelo	Datos homologados	HBEFA	COPERT
Características del vehículo. Cantidad de datos disponibles	3	1	1
Consumos. Cantidad de datos disponibles:	3	2	3
Emisiones. Cantidad de datos disponibles:	2	2	3
Consumo. Fiabilidad de los datos	2	3	2
Consumos y emisiones. Datos actualizados	3	2	2
Encaja con el objetivo de este proyecto	3	2	2
Normativa de emisiones disponible	1	2	2
TOTAL	17	14	15

Vehículos N2 y N3

Modelo	Datos homologados	HBEFA	COPERT
Características del vehículo. Cantidad de datos disponibles	1	3	3
Consumos. Cantidad de datos disponibles:	1	3	3
Emisiones. Cantidad de datos disponibles:	1	3	3
Consumo. Fiabilidad de los datos	3	3	2
Consumos y emisiones. Datos actualizados	3	3	2
Encaja con el objetivo de este proyecto	2	2	2
Normativa de emisiones disponible	1	3	3
TOTAL	12	20	14

Finalmente, se decidió que para cada segmento, la fuente de información más apropiada era la siguiente:

	1ª Alternativa	2ª Alternativa
Turismos y TT	Datos homologados	COPERT
Vehículos N1	Datos homologados	COPERT
Vehículos N2 y N3	HBEFA	COPERT

Habiendo fijado la fuente de información en las fichas técnicas de los vehículos, era necesario definir el método de obtención de la fórmula final. Dada la ingente cantidad de datos que se iba a manejar, se optó por obtener los coeficientes a partir de regresión lineal, dado que, por otro lado, el programa MatLab facilita enormemente esta tarea y se puede hacer múltiples cambios hasta llegar a la expresión con menor error posible.

Para que la comprensibilidad y simplicidad de los resultados fuera alta, se dividieron las características de los vehículos y del trayecto en tres grupos:

- Características del motor: Cilindrada, potencia, par, etc.
- Características generales del vehículo: Peso, área frontal, batalla, etc.
- Características del recorrido: Velocidad media.

De esta forma se ha hecho el ajuste en cuatro pasos:

- A. Ajuste de la influencia de las características del motor sobre el consumo medio: Se intenta explicar mediante las variables relevantes del primer grupo los consumos medios de cada vehículo y se obtiene una fórmula.
- B. Ajuste de la influencia de las características del vehículo sobre el consumo medio: Se intenta explicar mediante las variables relevantes del segundo grupo los consumos medios de cada vehículo y se obtiene una fórmula.
- C. Ajuste de la influencia de las características del recorrido sobre el consumo: Se intenta explicar mediante las velocidades medias de cada parte del ciclo NEDC los consumos de combustible homologados de cada vehículo y se obtiene una fórmula.
- D. Ajuste global: Una vez que se tienen los coeficientes de cada grupo de variables, se ajusta la influencia de todos los consumos al mismo tiempo por grupos, obteniendo cuatro coeficientes, uno por grupos y una constante.

Dado que el ensayo de homologación sólo arroja dos resultados (uno para parte urbana y otro para interurbana, siendo el mixto un resultado medio ponderado pero no real), se ha optado por tomar la forma de esta curva del estudio MEET para turismos, todo-terrenos y vehículos N1. Para los vehículos N2/N3, se ha tomado dicha curva del HBEFA. Así se asegura una relación entre las situaciones habituales de conducción y el consumo más reales. Esta circunstancia se explica detalladamente más adelante.

Mediante este procedimiento, se obtiene para cada segmento una fórmula de este tipo:

$$\text{CONSUMO} = \boxed{A + B \times (V_t^{K_1} \times i^{K_2} \times s^{K_3})} + \boxed{+ C \times (P^{K_4} \times P/Pot^{K_5})} + \boxed{+ D \times (K_6 + K_7 \times V + K_8 \times V^2 + K_9 \times V^3)}$$

Características motor \longrightarrow \uparrow
Características generales vehículo \longrightarrow \uparrow
Velocidad \longrightarrow \uparrow

Donde:

Consumo: Consumo medio del recorrido (l/100km)

Vt: Cilindrada total del motor (l)

i: Marcha más larga (en km/h a las 1.000 rpm)

s: Sobrealimentación (sí=3/no=2)

P: Peso total del vehículo (kg)

Pot: Potencia nominal del motor (CV)

V: Velocidad media (km/h)

A,B,C,D,K₁,K₂,K₃,K₄,K₅,K₆,K₇,K₈,K₉: Constantes propias para cada segmento y motorización

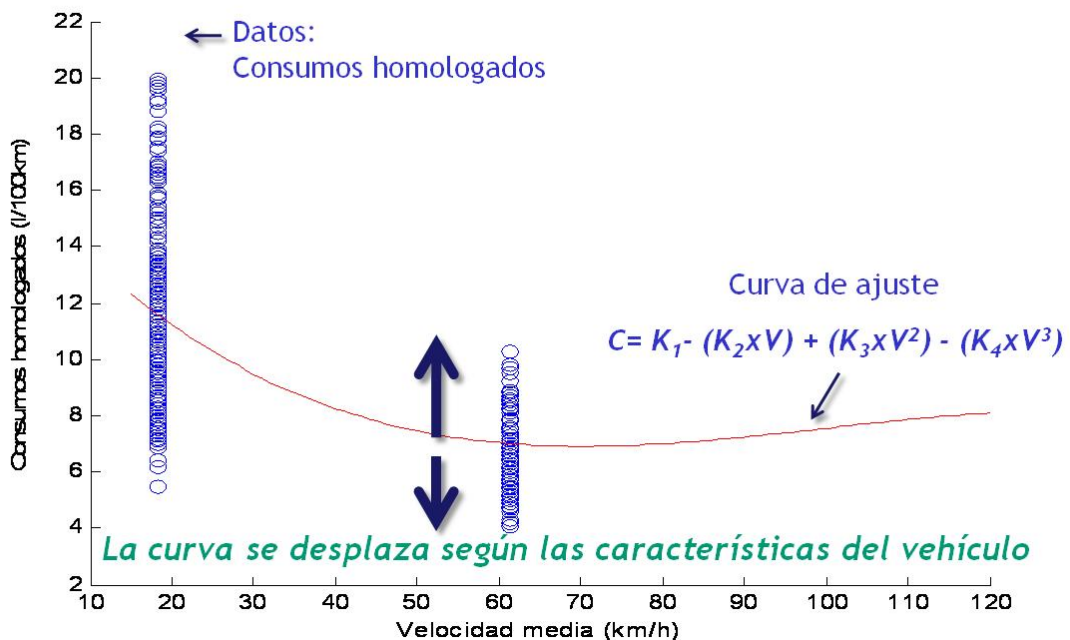
Lógicamente, las variables que intervienen son distintas para cada segmento y motorización.

De esta forma se consigue una formulación sencilla. La parte correspondiente al recorrido queda representada simplemente con la velocidad media del mismo. Esto supone una simplificación importante, ya que dos ciclos de conducción pueden ser muy diferentes y sin embargo tener la misma velocidad media. Aun así, se puede identificar este valor con situaciones habituales de conducción

La fórmula supone que el ajuste consiste en lo siguiente: si se dispone de un grupo de datos sobre consumos de vehículos, y se representan en función de la velocidad media, tenemos una nube de puntos. Si se halla una curva de error mínimo, se tiene que dicha curva se desplazará para explicar los consumos de un determinado vehículo en todo el rango de velocidades medias, según las características del propio vehículo.

Esta explicación se puede representar gráficamente:

Ajuste consumos - velocidad



Por otro lado, y con respecto a las emisiones de CO₂, se ha podido constatar en la bibliografía que existe una relación proporcional bastante exacta entre el consumo de combustible y dichas emisiones, por lo que en los modelos estudiados se suelen calcular a partir del consumo y multiplicándolo por una constante que es necesario obtener.

No se puede decir lo mismo de las emisiones contaminantes, como el CO, los NO_x, SO₂, COV's y partículas, las cuales no siguen unas leyes claramente definidas, ya que dependen mucho de otros factores, como la utilización que se haga del motor en cada momento. Especialmente problemáticas resultan las partículas y los NO_x. No se ha tenido en cuenta estos efectos, al quedar estas emisiones fuera del alcance del proyecto EnerTrans. Tampoco se ha tenido en cuenta otros gases de efecto invernadero, como el CH₄ y el N₂O. Estos gases están presentes en las últimas versiones de COPERT y HBEFA. Gracias a esto, se ha podido comprobar que su orden de magnitud comparado con el CO₂ es despreciable, aun teniendo en cuenta si mayor efecto ambiental.

1.1.4 Criterios

Para realizar el modelo, se definieron una serie de características deseables del modelo:

- Que tenga el menor número de variables posible.
- Que la muestra sea lo más extensa posible.
- Que exista coherencia.
- Que tenga el menor error posible.
- Que exista una explicación teórica de las variables que aparecen.
- Que las variables sean independientes entre sí.

Por otro lado, se definieron una serie de criterios numéricos para la regresión:

- R^2 lo más cerca posible de la unidad.
- Error relativo y absoluto lo más pequeños posible.
- Análisis distribución T y F cumplan al menos el 95% de confianza.
- Ningún valor de la matriz de covarianza mayor de 0,25.

Se ha podido comprobar que no siempre es posible cumplir todos los requisitos al mismo tiempo, en ocasiones ha habido que alcanzar una solución de compromiso.

1.1.5 Fórmulas resultantes

Las fórmulas, resultado de los cálculos, son las siguientes, expresadas por segmento y motorización:

Turismos gasolina

Fórmula

$$\text{CONSUMO} = -9,1506 + 5,8795 \times (Vt^{0,609} \times i^{-0,185} \times s^{0,150}) +$$

Características motor

$$+ 0,047 \times (P^{0,699} \times P/Pot^{0,277}) +$$

Características generales vehículo

$$+ 1,073 \times (16,57 - 0,336 \times V + 0,004 \times V^2 - 12,37 \times 10^{-06} \times V^3)$$

Velocidad

Esta fórmula es válida para un rango de velocidades entre 5 y 120 Km/h

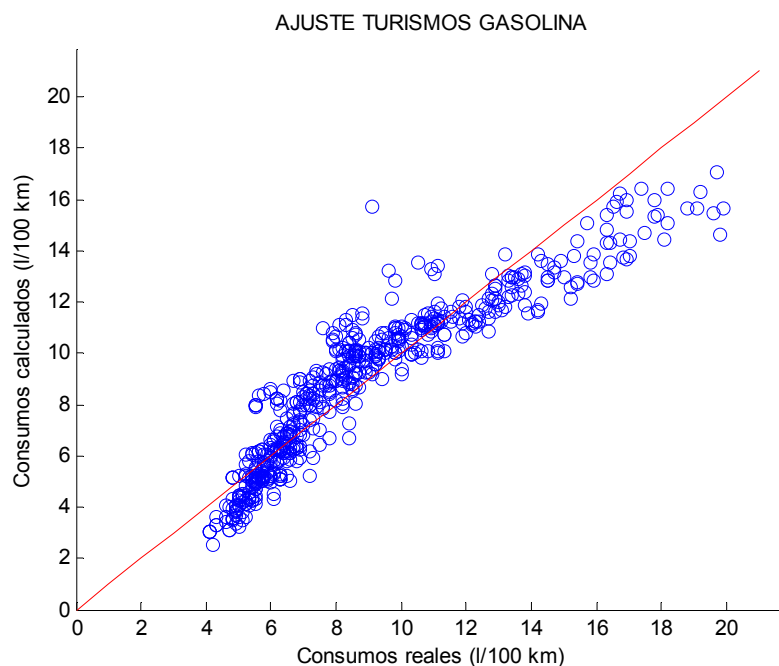
Constante de emisiones de CO₂:

Emisiones CO₂ (g/km)= Consumo (g/km) x 3,175.

Parámetros de la regresión

Parámetro	Valor
R ²	0,852
Error medio relativo (%)	12,21%
Error medio absoluto (l)	1,01

Comparativa consumos reales-consumos calculados



Turismos gasóleo

Fórmula

$$\text{CONSUMO} = -3,927 + 1,082 \times (Vt^{0,156} \times i^{-0,272} \times s^{0,173}) +$$

Características motor

$$+ 0,0132 \times (P^{0,877} \times P/Pot^{-0,153}) +$$

Características generales vehículo

$$+ 0,899 \times (11,06 - 0,203 \times V + 0,002 \times V^2 - 6,12 \times 10^{-06} \times V^3)$$

Velocidad

Esta fórmula es válida para un rango de velocidades entre 5 y 120 Km/h

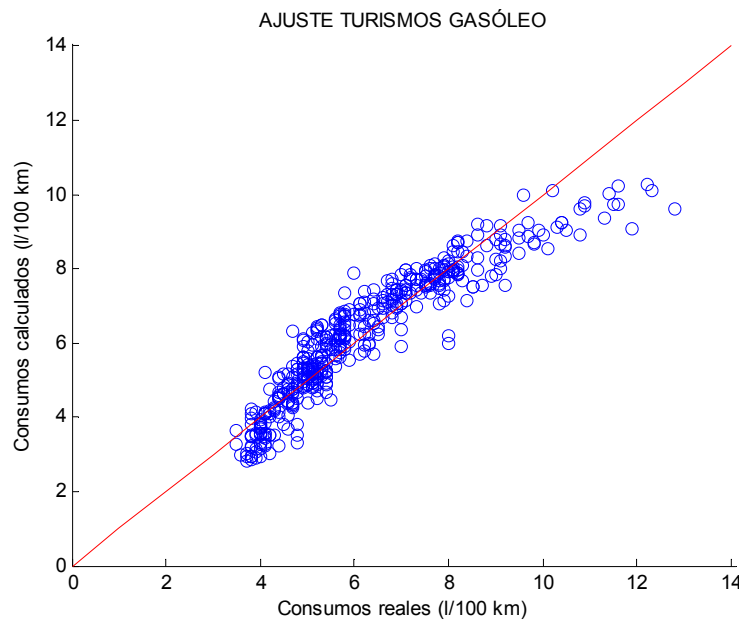
Constante de emisiones de CO₂:

Emisiones CO₂ (g/km)= Consumo (g/km) x 3,25.

Parámetros de la regresión

Parámetro	Valor
R ²	0,869
Error medio relativo (%)	8,27
Error medio absoluto (l)	0,50

Comparativa consumos reales-consumos calculados



Todo-terrenos gasolina

Fórmula

CONSUMO= $-11,483 + 4,305 \times (Vt^{0,566} \times s^{0,205}) +$

Características motor \rightarrow

$+ 0,019 \times (P^{0,765} \times P/Par^{-0,297}) +$

Características generales vehículo \rightarrow

$+ 1,274 \times (16,57 - 0,336 \times V + 0,004 \times V^2 - 12,37 \times 10^{-06} \times V^3)$

Velocidad \rightarrow

Al igual que en los casos anteriores, esta fórmula es válida para un rango de velocidades entre 5 y 120 Km/h

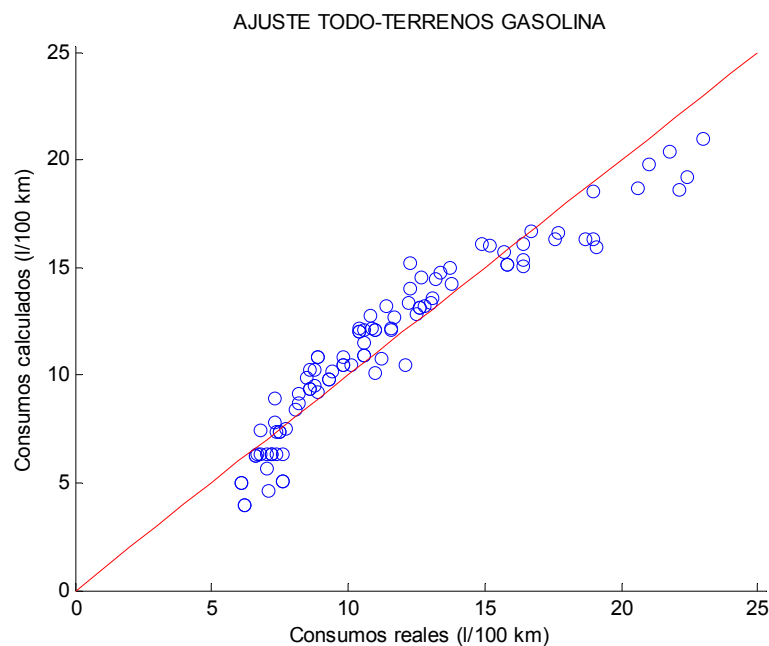
Constante de emisiones de CO₂:

Emisiones CO₂ (g/km)= Consumo (g/km) x 3,175.

Parámetros de la regresión

Parámetro	Valor
R ²	0,90
Error medio relativo (%)	10,56
Error medio absoluto (l)	1,12

Comparativa consumos reales-consumos calculados



Todo-terrenos gasóleo

Fórmula

$$\begin{aligned}
 \text{CONSUMO} = & \boxed{-8,1526 + 12,02 \times (Vt^{0,771} \times i^{-0,473})} + \\
 & \text{Características motor} \quad \uparrow \\
 & \boxed{+ 0,0066 \times (P^{0,766} \times P/Par^{0,108})} + \\
 & \text{Características generales vehículo} \quad \uparrow \\
 & \boxed{+ 1,156 \times (11,06 - 0,203 \times V + 0,002 \times V^2 - 6,12 \times 10^{-06} \times V^3)} \\
 & \text{Velocidad} \quad \uparrow
 \end{aligned}$$

Siendo esta fórmula válida para un rango de velocidades entre 5 y 120 Km/h

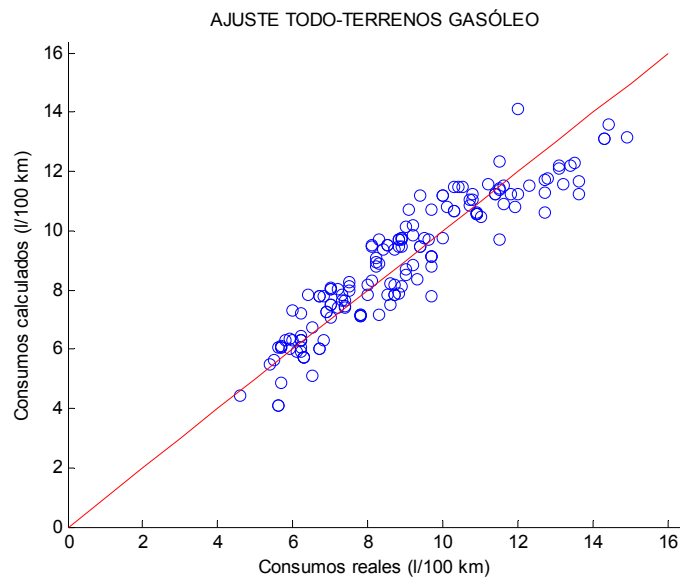
Constante de emisiones de CO₂:

Emisiones CO₂ (g/km)= Consumo (g/km) x 3,175.

Parámetros de la regresión

Parámetro	Valor
R ²	0,860
Error medio relativo (%)	8,2
Error medio absoluto (l)	0,72

Comparativa consumos reales-consumos calculados



Vehículos N1 gasolina

Fórmula

$$\text{CONSUMO} = -5,656 + 0,011 \times (P^{0,531} \times \text{Perf.neum}^{0,6788}) +$$

Características generales vehículo

$$+ 0,368 \times (25,52 - 0,417 \times V + 0,0026 \times V^2)$$

Velocidad

Resultado válido para un rango de velocidades entre 5 y 120 Km/h

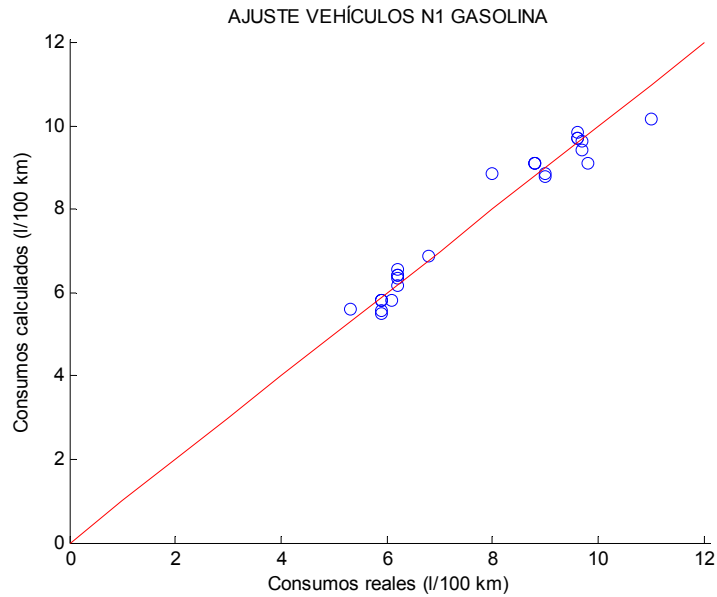
Constante de emisiones de CO₂:

Emisiones CO₂ (g/km)= Consumo (g/km) x 3,175.

Parámetros de la regresión

Parámetro	Valor
R ²	0,96
Error medio relativo (%)	3,52
Error medio absoluto (l)	0,27

Comparativa consumos reales-consumos calculados



Vehículos N1 gasóleo

Fórmula

CONSUMO=

$$-3,460 + 1,868 \times (Vt^{1,039}) +$$

Características motor →

$$+ 0,0024 \times (P^{0,447} \times P/Par^{-0,112} \times MMA^{0,558}) +$$

Características generales vehículo ↗

$$+ 0,516 \times (16,36 - 0,298 \times V + 0,0023 \times V^2)$$

Velocidad →

Esta fórmula es válida para el mismo rango de velocidades que en el caso anterior

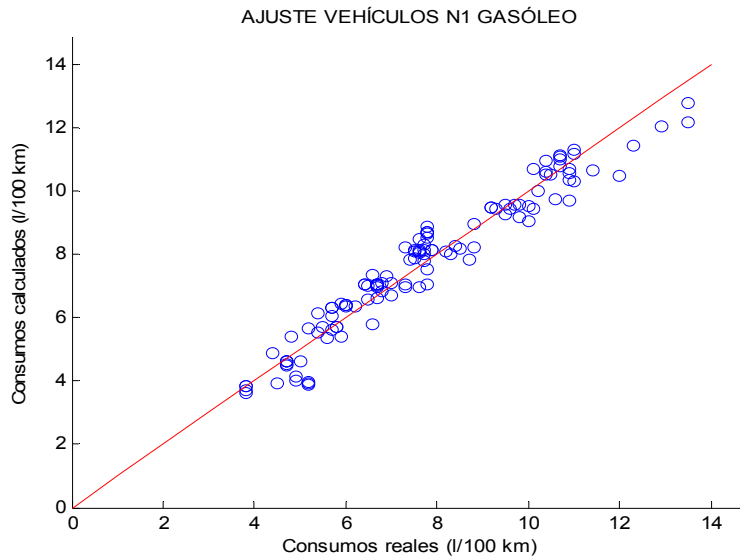
Constante de emisiones de CO₂:

Emisiones CO₂ (g/km)= Consumo (g/km) x 3,175.

Parámetros de la regresión

Parámetro	Valor
R ²	0,94
Error medio relativo (%)	6,22
Error medio absoluto (l)	0,45

Comparativa consumos reales-consumos calculados



Vehículos N2/N3 gasóleo

Fórmula

$$\text{CONSUMO} = -25,745 + 1 \times (11,945 + 4,09 \times 10^{-4} \times \text{MMA} + 6,05 \times 10^{-4} \times \text{CU}) +$$

Características generales vehículo →

$$+ 0,967 \times (51,616 - 0,812 \times V + 0,00568 \times V^2)$$

Velocidad →

Fórmula válida para un rango de velocidades entre 5 y 120 Km/h

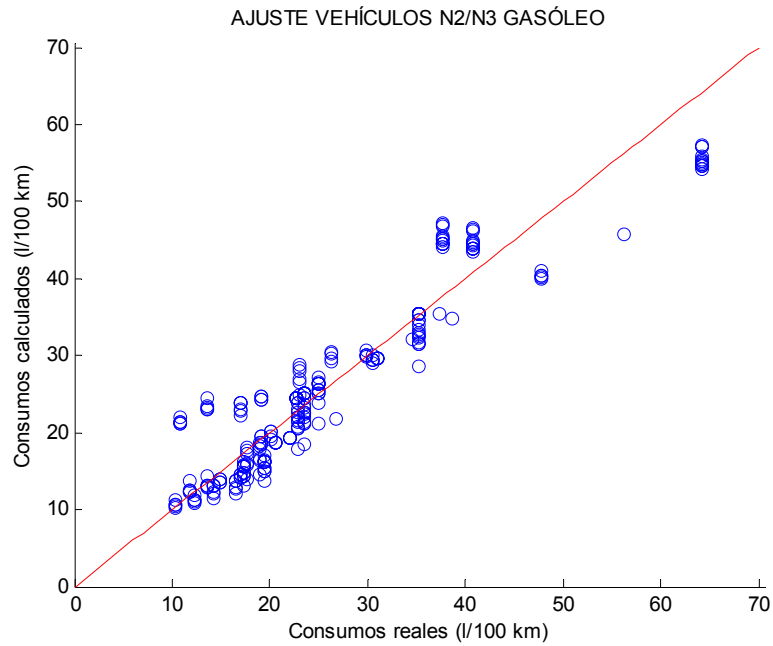
Constante de emisiones de CO₂:

Emisiones CO₂ (g/km) = Consumo (g/km) x 3,175.

Parámetros de la regresión

Parámetro	Valor
R ²	0,88
Error medio relativo (%)	13,12
Error medio absoluto (l)	3,10

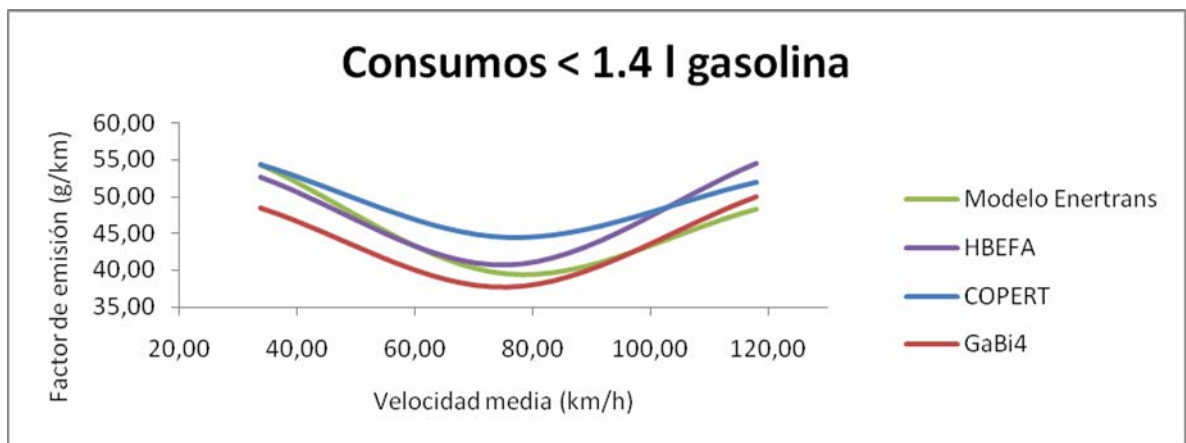
Comparativa consumos reales-consumos calculados

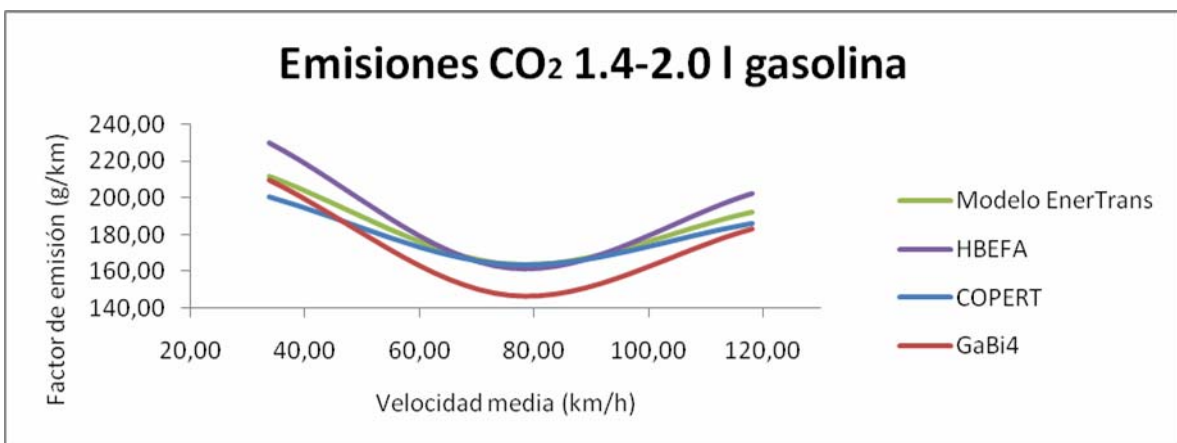
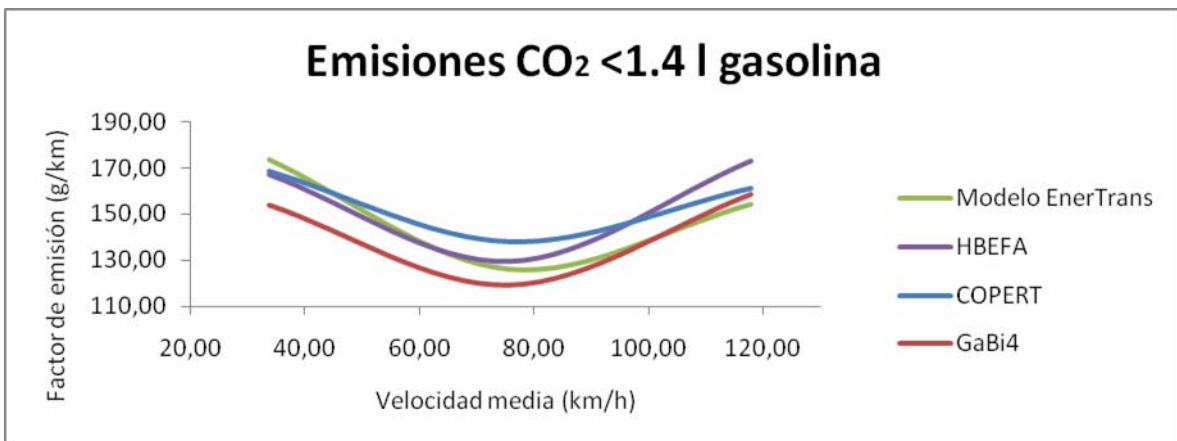
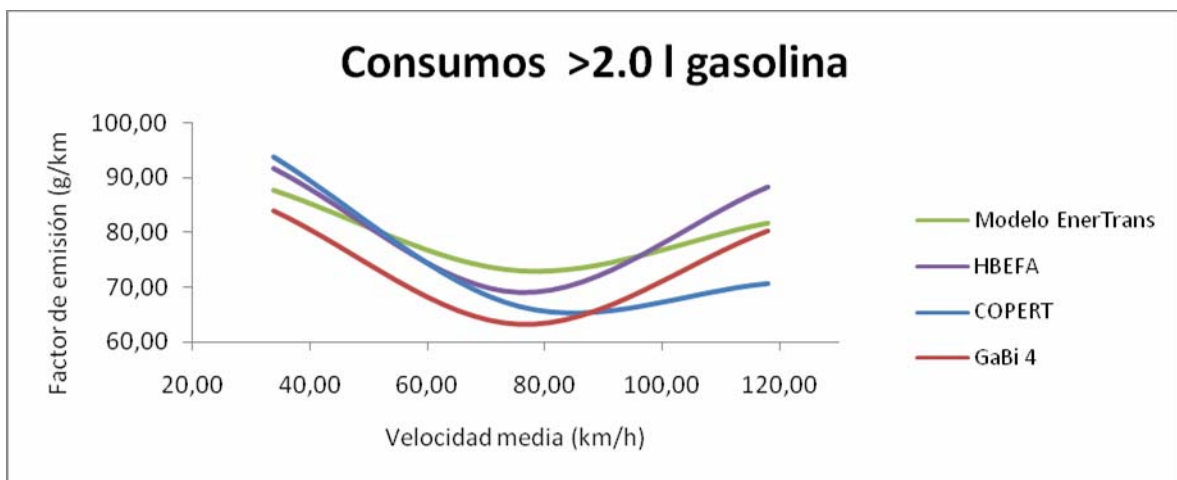
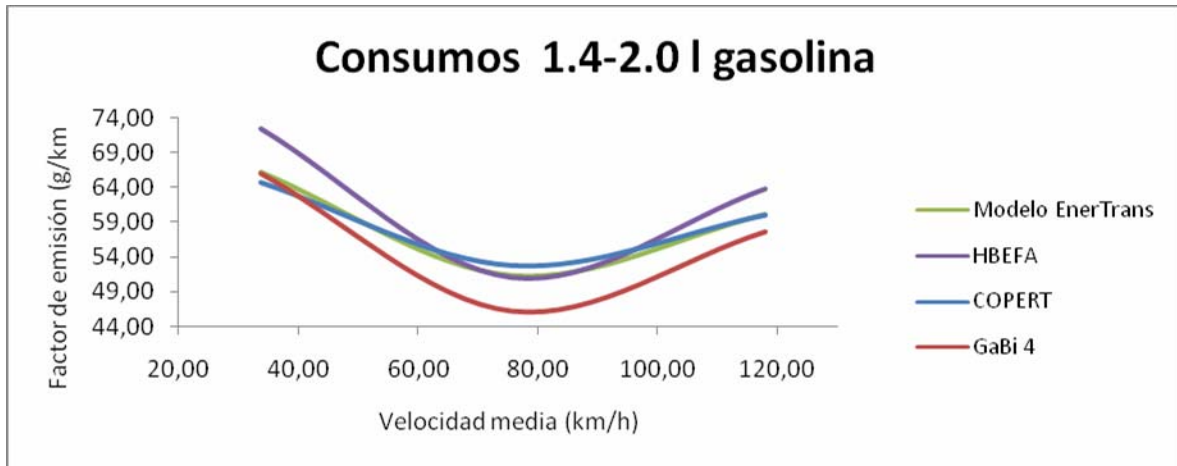


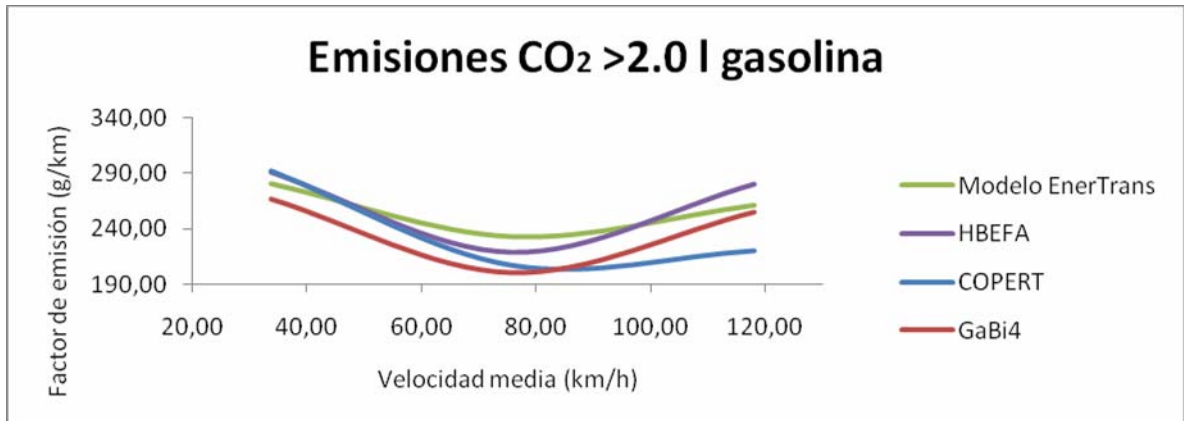
1.1.6 Validación del modelo

En este apartado se añade las tendencias de los factores de emisión obtenidos a partir del modelo construido a las gráficas mostradas en la revisión bibliográfica, las cuales mostraban las tendencias correspondientes a los factores equivalentes de los modelos estudiados anteriormente.

Turismos gasolina







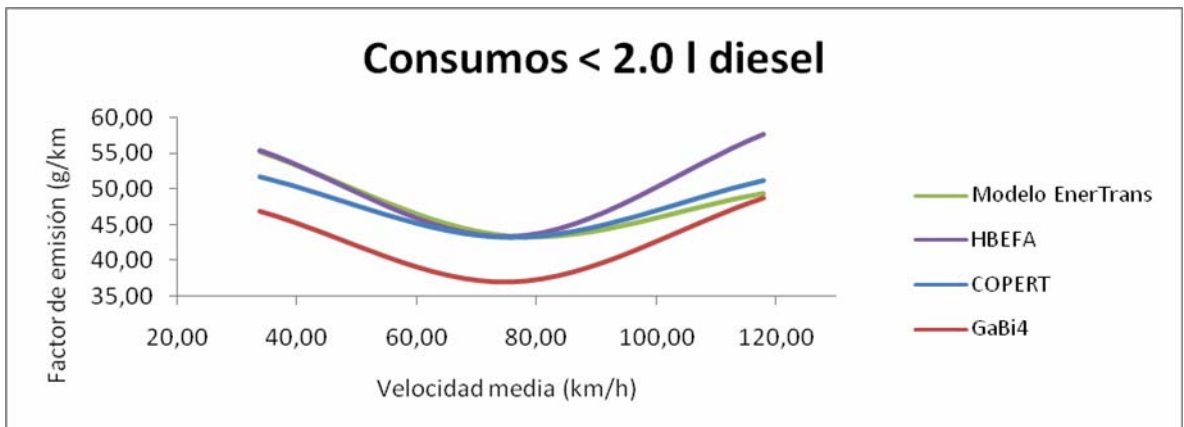
Como se puede ver, las tendencias de los factores de consumo y emisión calculados con el modelo presentado en este proyecto entran dentro del orden de magnitud habitual hasta el momento, siempre que los comparemos en las mismas condiciones.

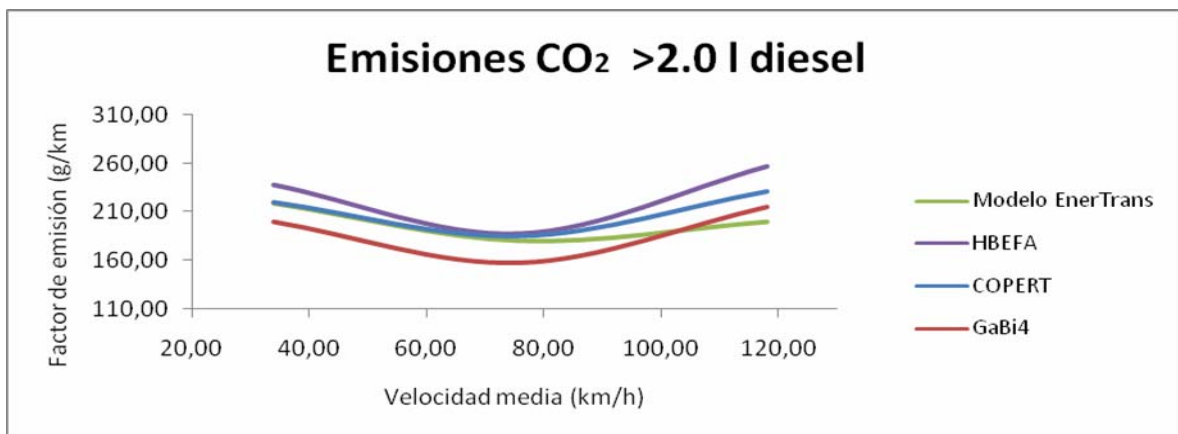
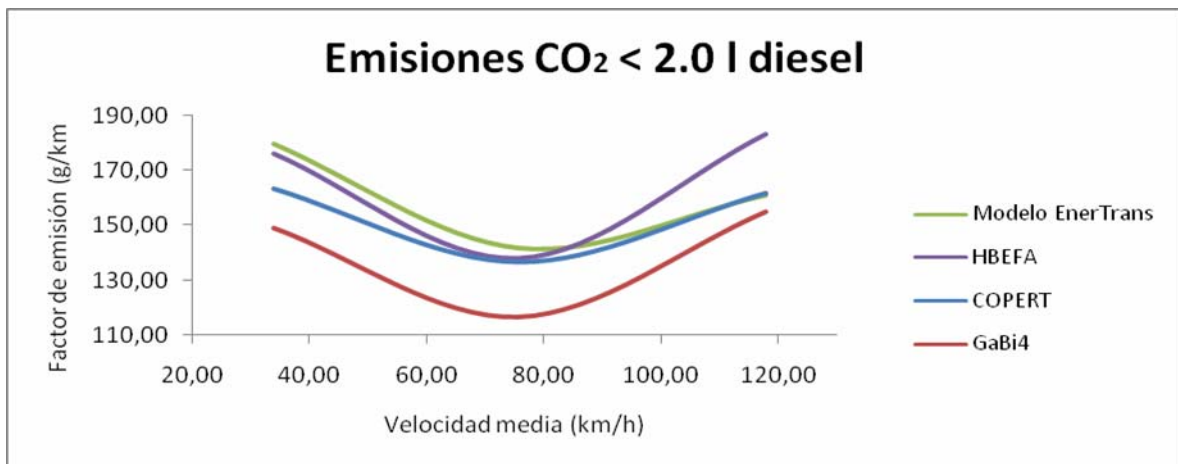
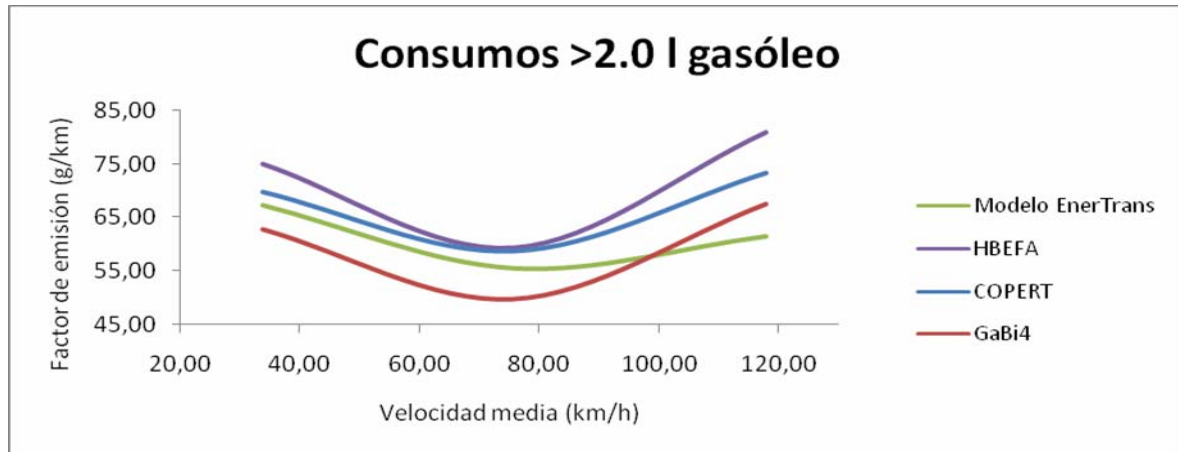
Las tendencias que presentan son apropiadas, reflejando más o menos fielmente situaciones habituales de conducción, es decir, consumos altos a velocidades medias bajas (circulación por ciudad con velocidad muy variable, y mucho tiempo al ralentí); consumos mínimos en carreteras secundarias (velocidad muy constante y no muy alta); y consumos de nuevo crecientes en autovías o autopistas (velocidad muy constante pero alta resistencia aerodinámica).

Ha sido necesaria una corrección en este punto por adaptación de ciclo legislativo al real, ya que todos los factores obtenidos directamente de la regresión eran demasiado bajos.

La constante de relación entre consumos y emisiones de CO₂ se ha fijado en 3,175.

Turismos gasóleo





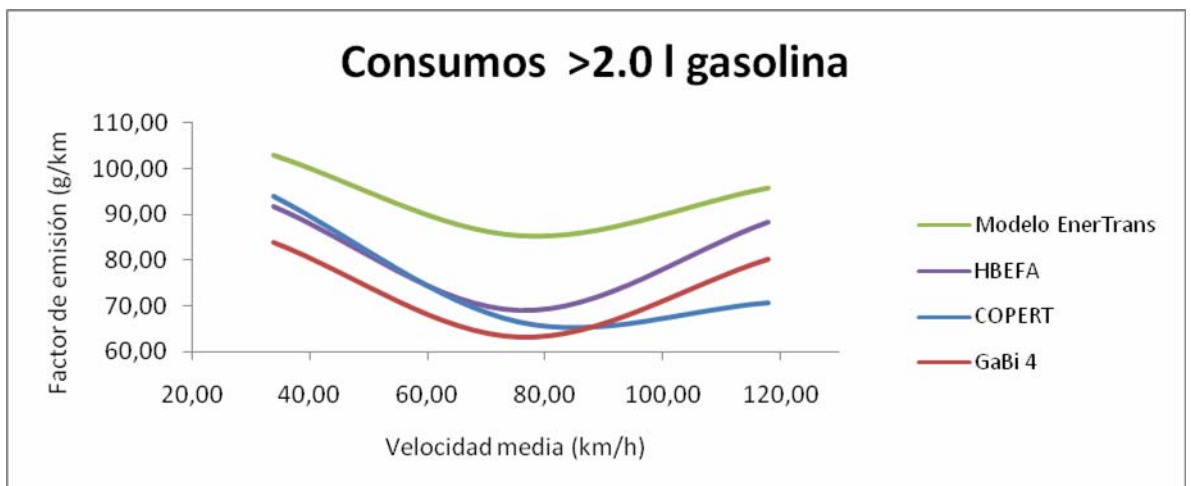
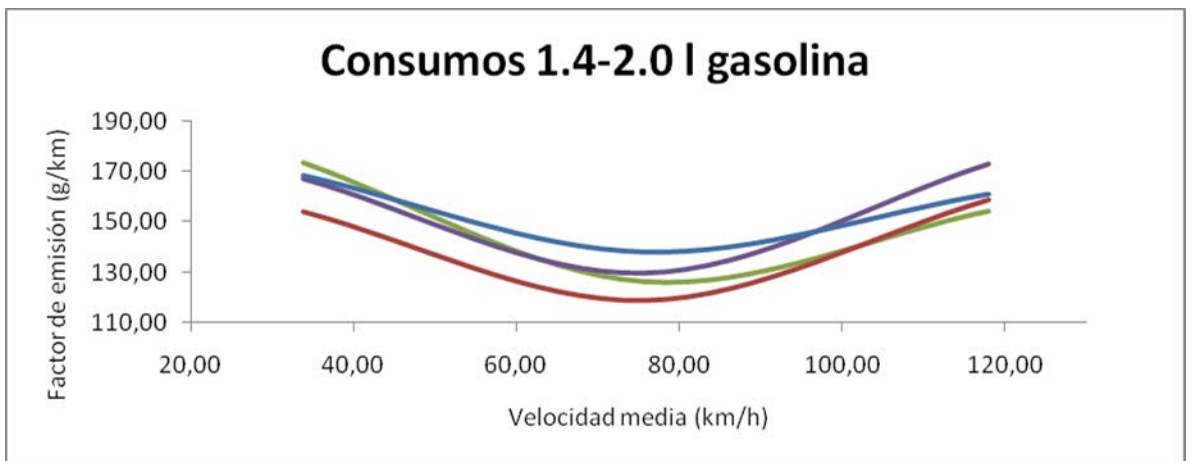
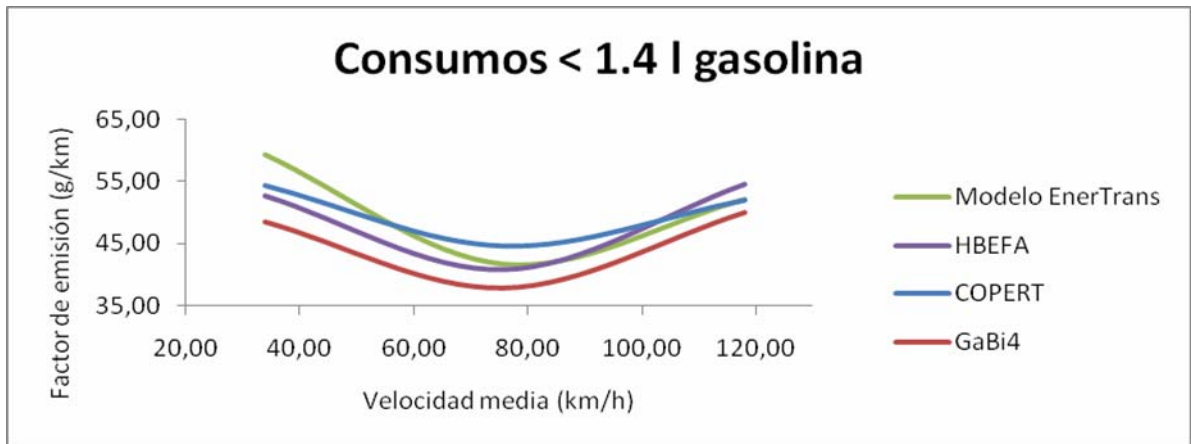
Como se puede ver, las tendencias de los factores de consumo y emisión calculados con el modelo presentado en este proyecto entran dentro del orden de magnitud habitual hasta el momento, siempre que los comparemos en las mismas condiciones.

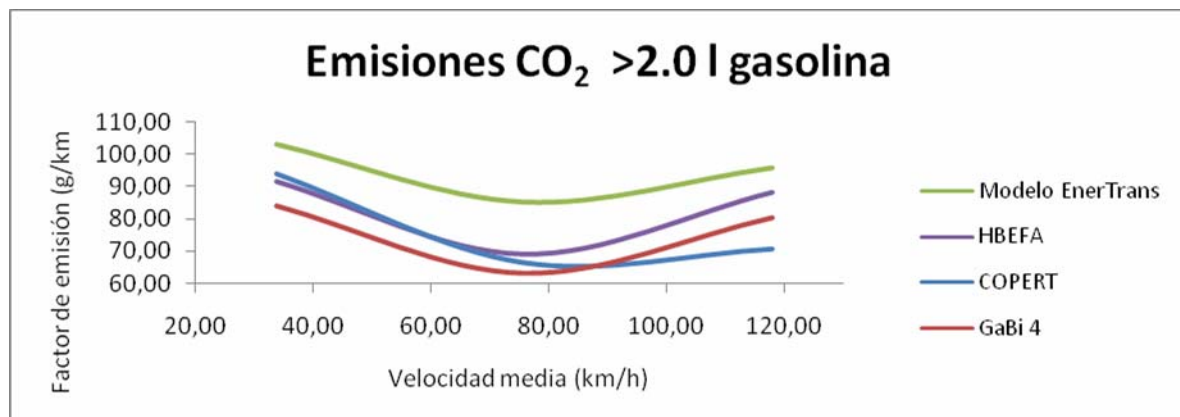
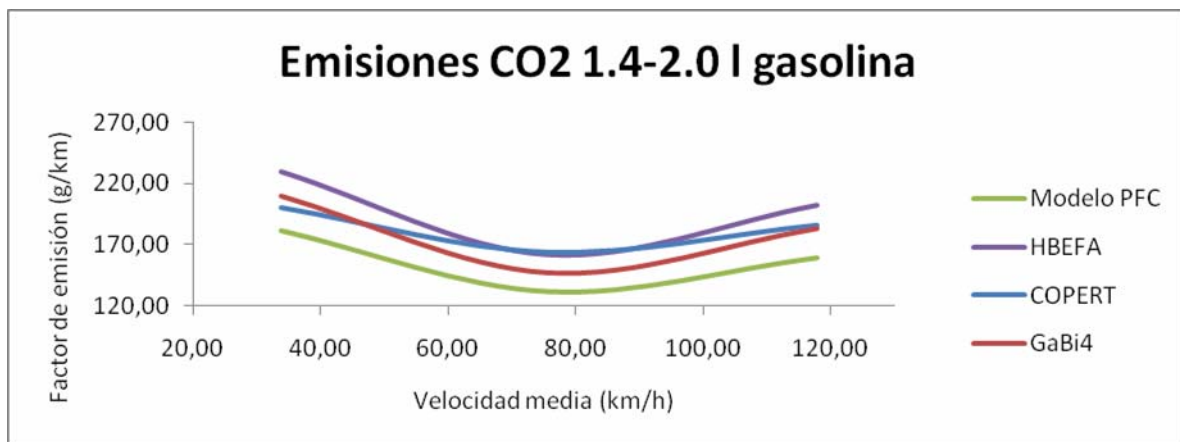
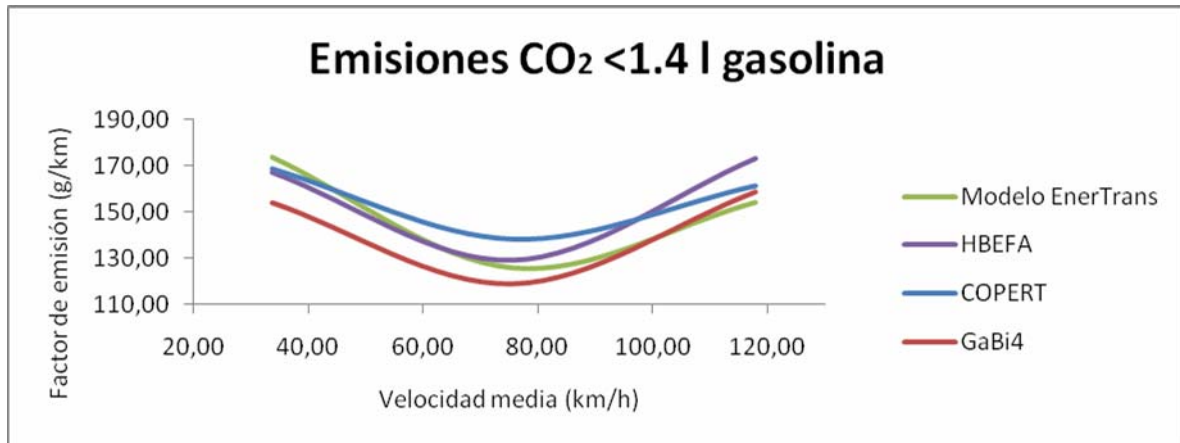
En este subsegmento son válidos los mismos comentarios que para el anterior.

Por otro lado, la constante de relación entre consumos y emisiones de CO₂ se ha fijado en 3,25.

Todo-terrenos gasolina

Se ha comparado con los turismos.



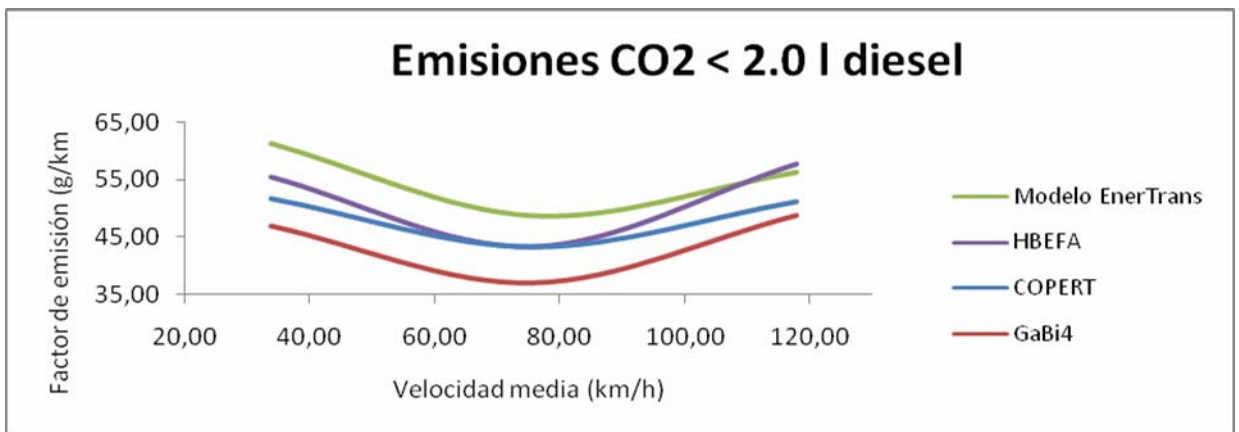
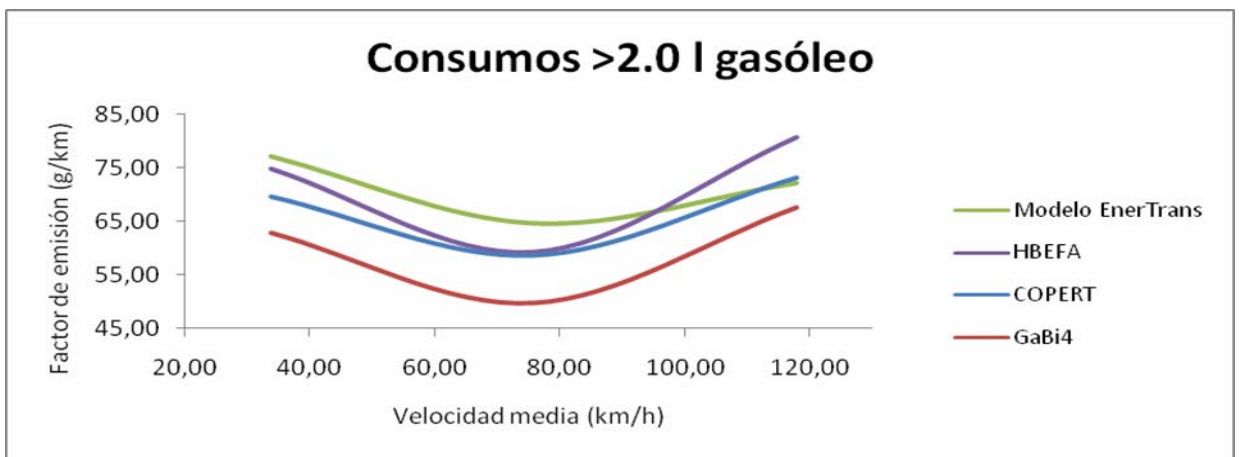
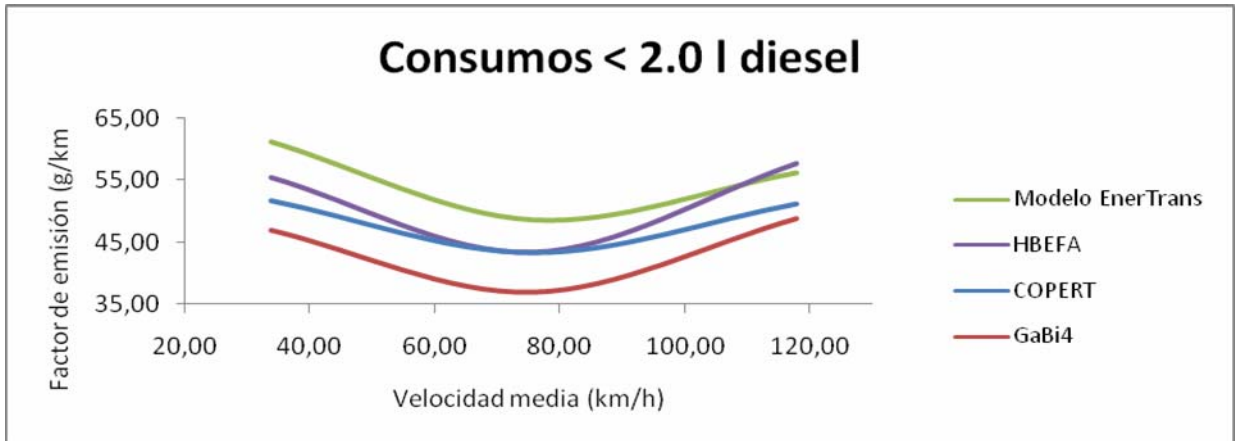


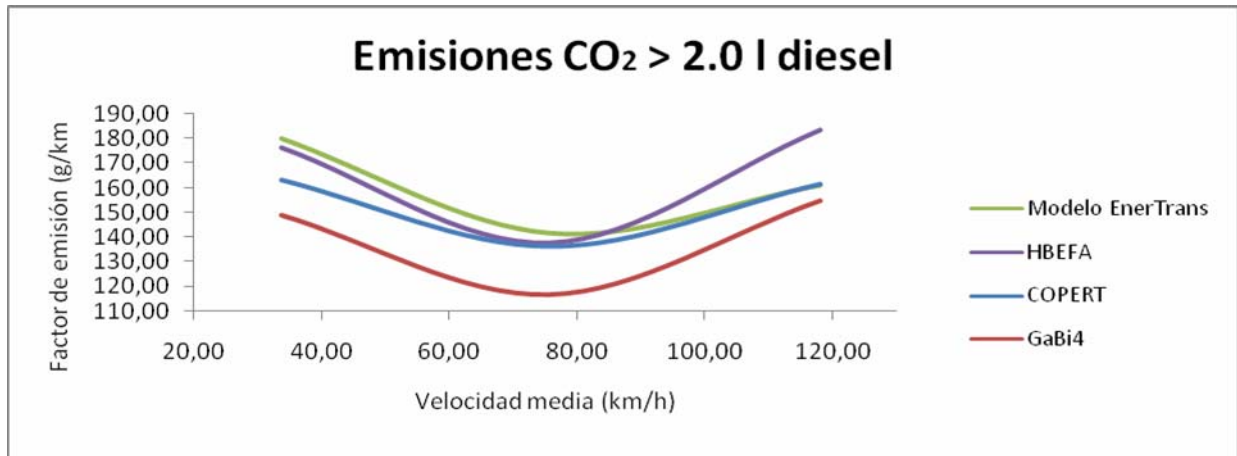
En este apartado la comparación es complicada debido a que en los modelos antecedentes no existe el segmente todo-terreno como tal. Por ello se compara con los turismos y se espera que los factores tanto de consumo como de emisiones resulten ligeramente superiores. Esto se cumple para las dos categorías inferiores, e incluso para la tercera. Sin embargo, en ésta la diferencia es quizá demasiado abultada. En cualquier caso, se ha ajustado el modelo para que la diferencia sea la menor posible, cumpliendo la suposición comentada.

Al igual que en el segmento anterior, ha sido necesario un ajuste de adaptación a conducción en ciclo real.

Por otro lado, la constante de relación entre consumos y emisiones de CO₂ se ha fijado en 3,175.

Todo-terrenos gasóleo



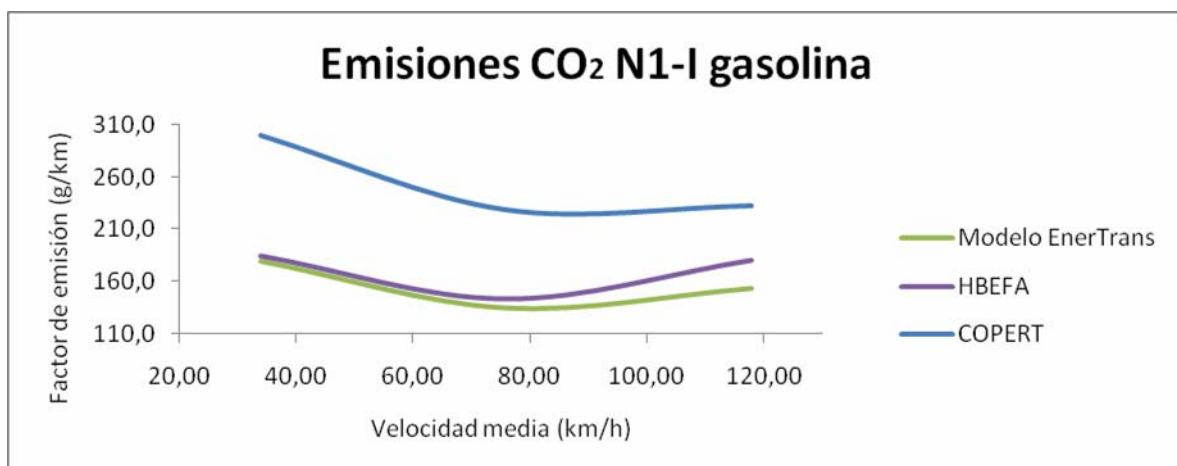
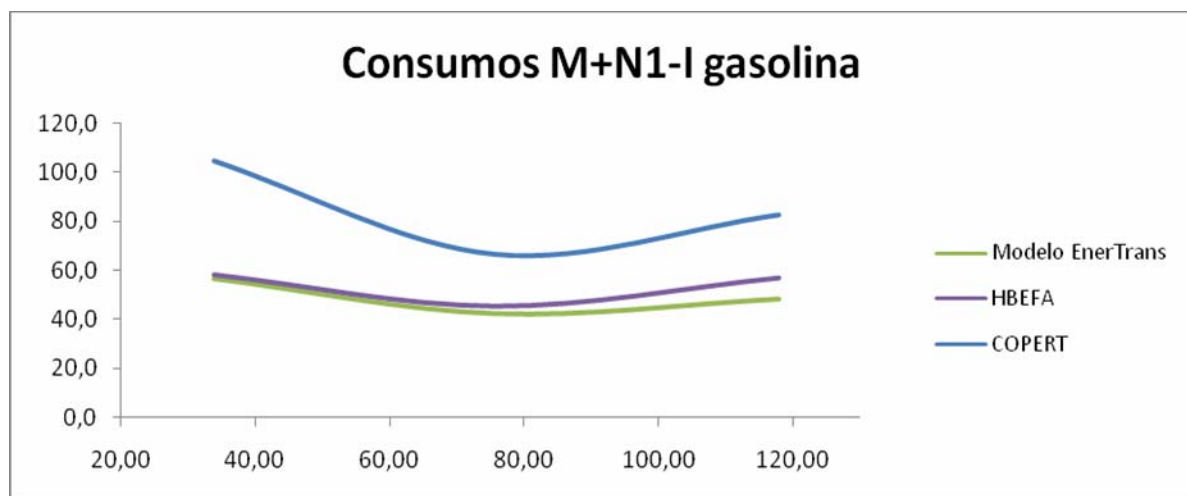


En este apartado la comparación es complicada debido a que en los modelos antecedentes no existe el segmente todo-terreno como tal. Por ello se compara con los turismos y se espera que los factores tanto de consumo como de emisiones resulten ligeramente superiores. Esto se cumple para las dos categorías.

Al igual que en el segmento anterior, ha sido necesario un ajuste de adaptación a conducción en ciclo real.

Por otro lado, la constante de relación entre consumos y emisiones de CO₂ se ha fijado en 3,175.

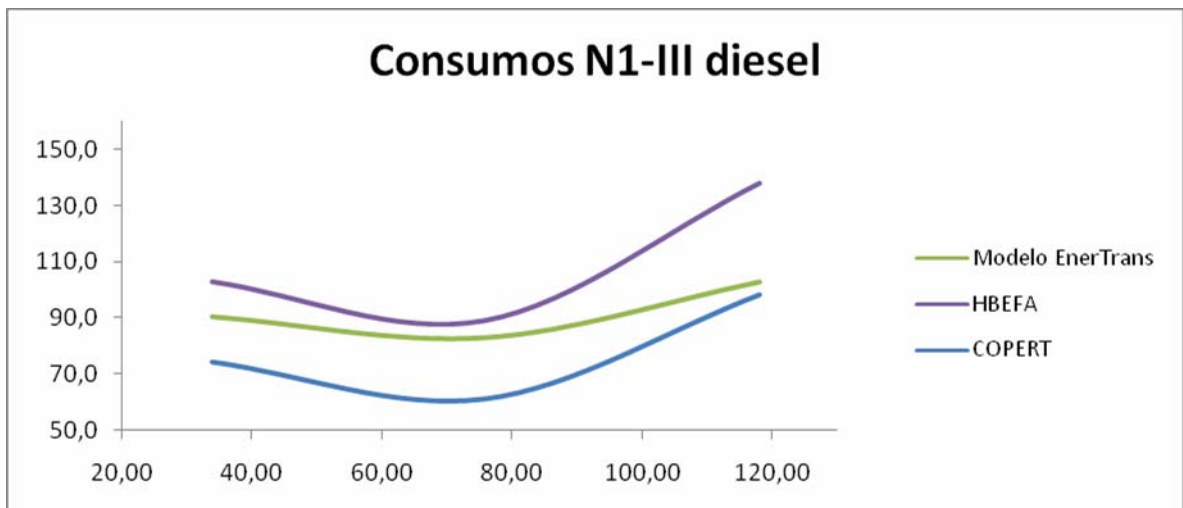
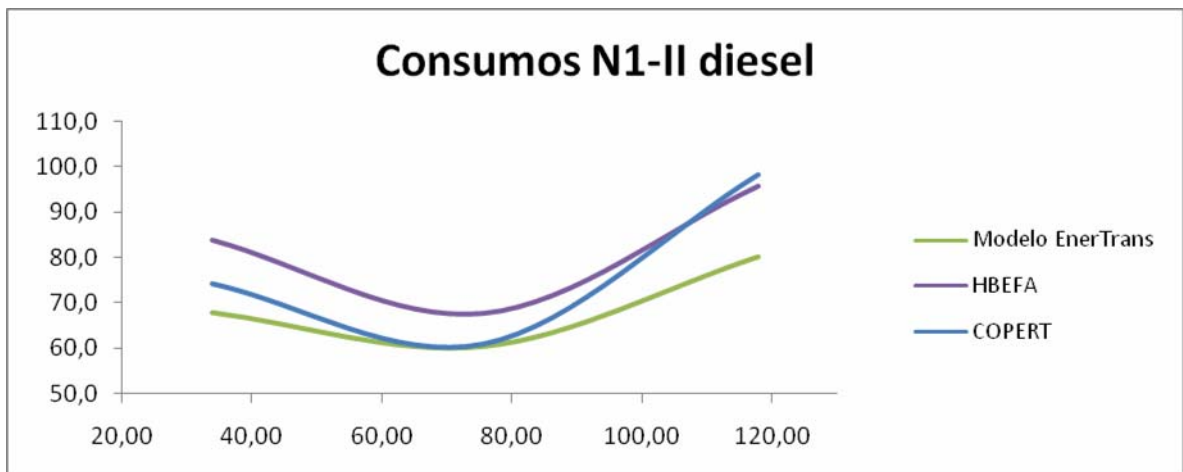
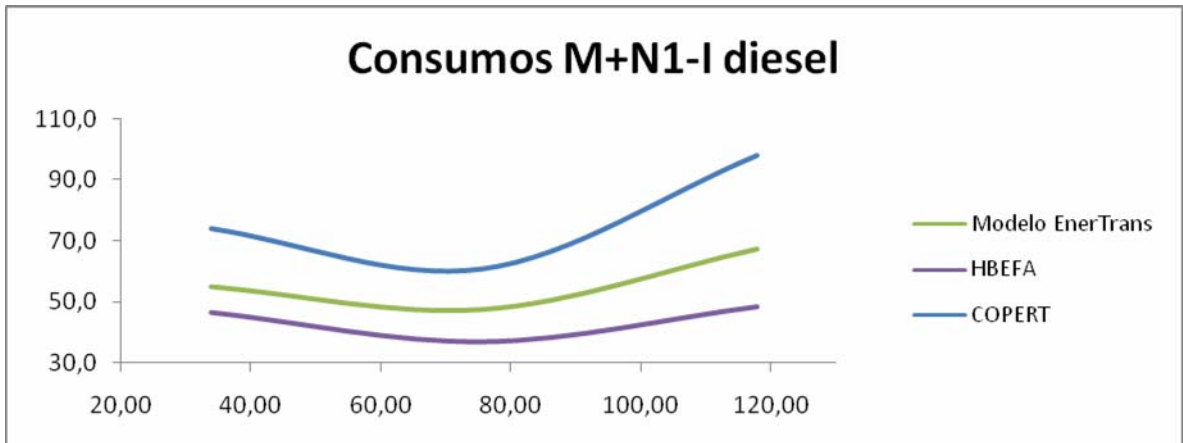
Vehículos N1 gasolina

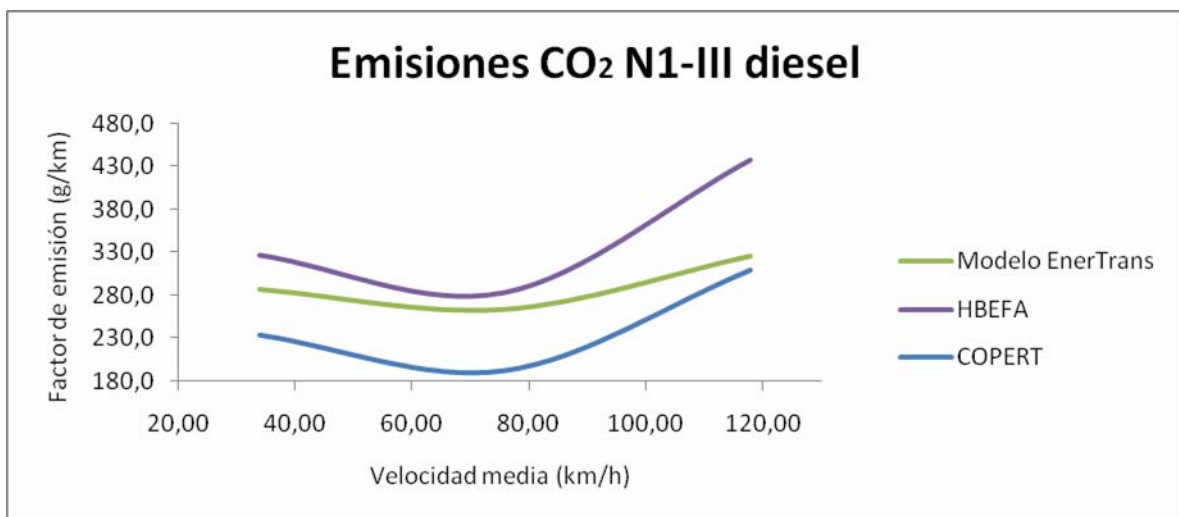
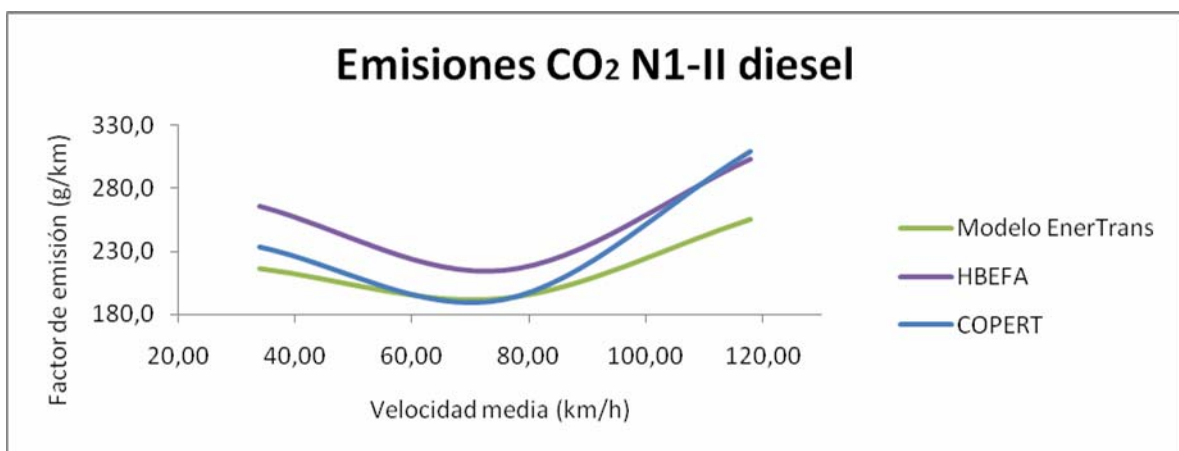
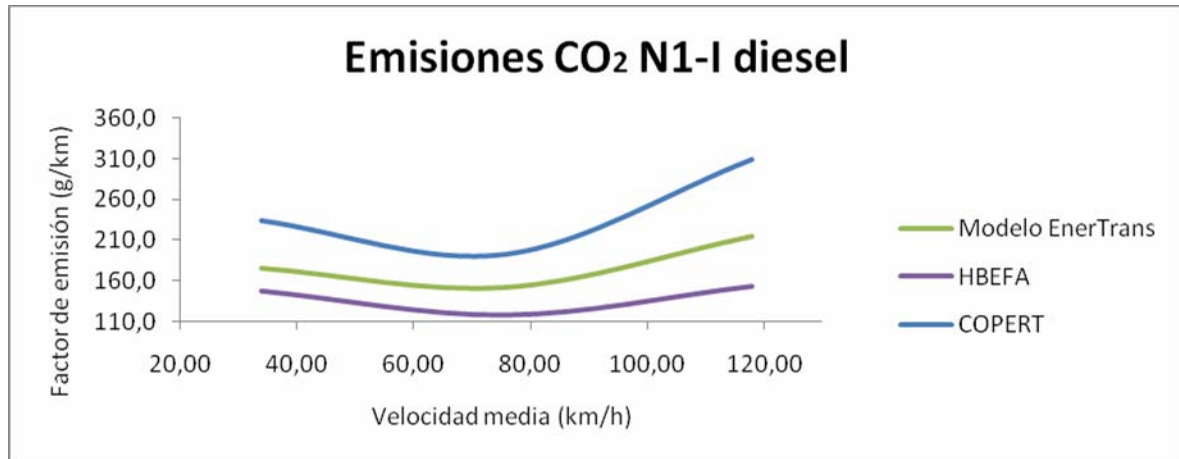


En esta comparación se ha añadido los factores correspondientes al COPERT pero estos valores realmente no son comparables en este subsegmento, ya que se refieren a un vehículo N1 medio, sin definir subcategorías. Como se puede comprobar, los factores son mucho más altos.

El modelo obtenido para este proyecto se aproxima bastante a los valores correspondientes del HBEFA, sin haber sido necesaria ninguna corrección por paso a ciclo real.

Vehículos N1 gasóleo



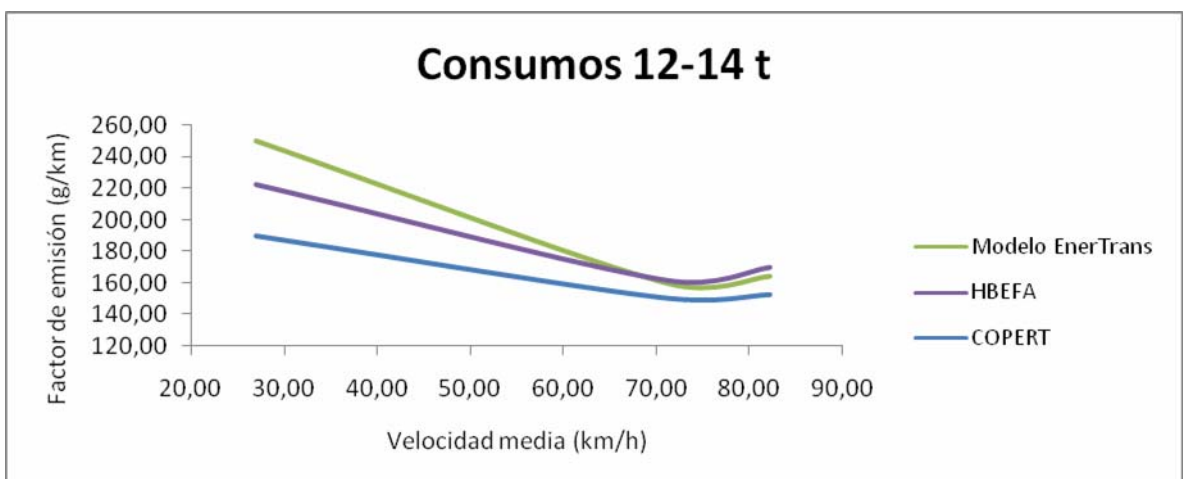
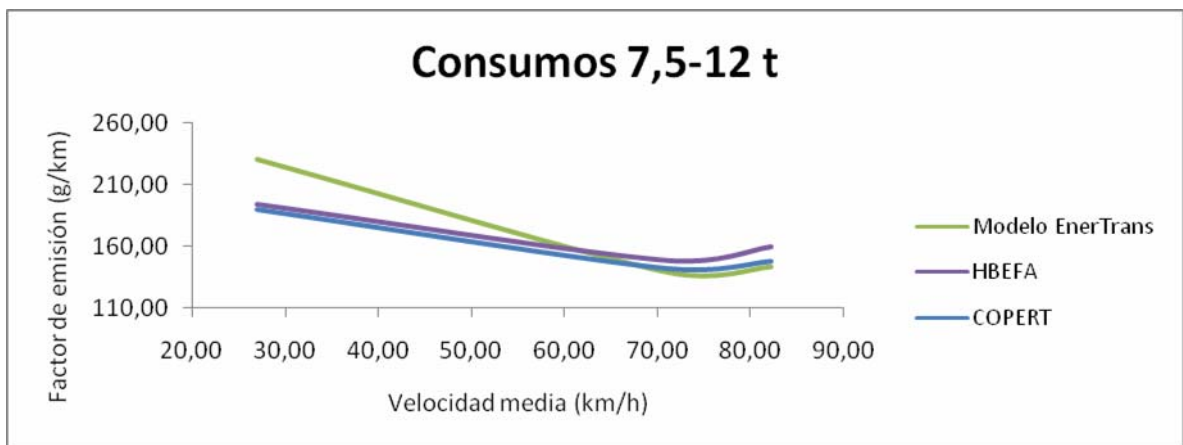
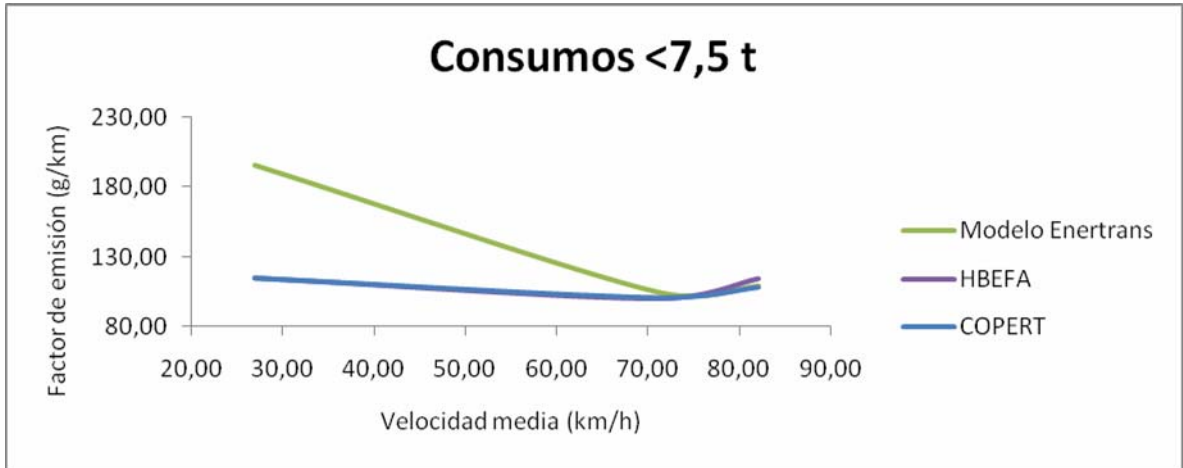


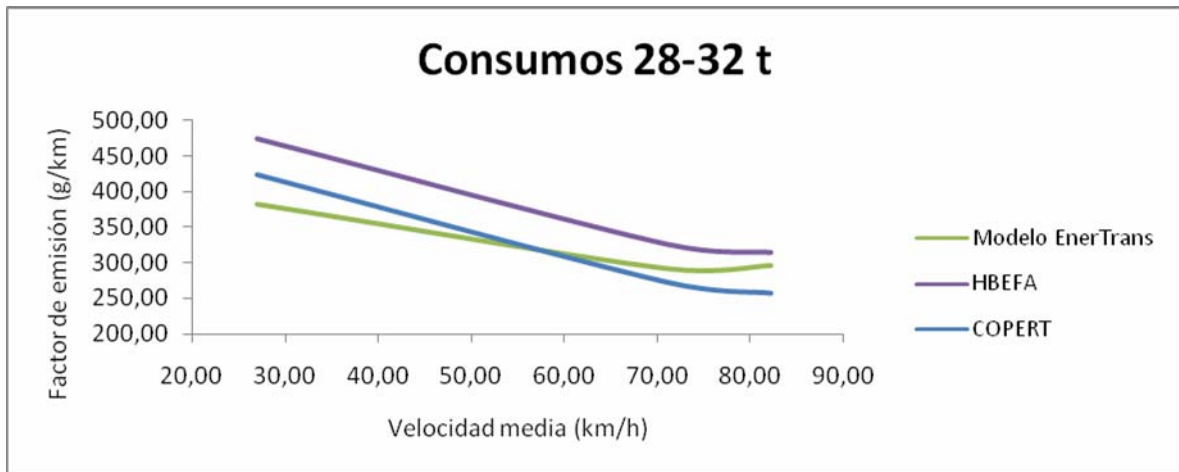
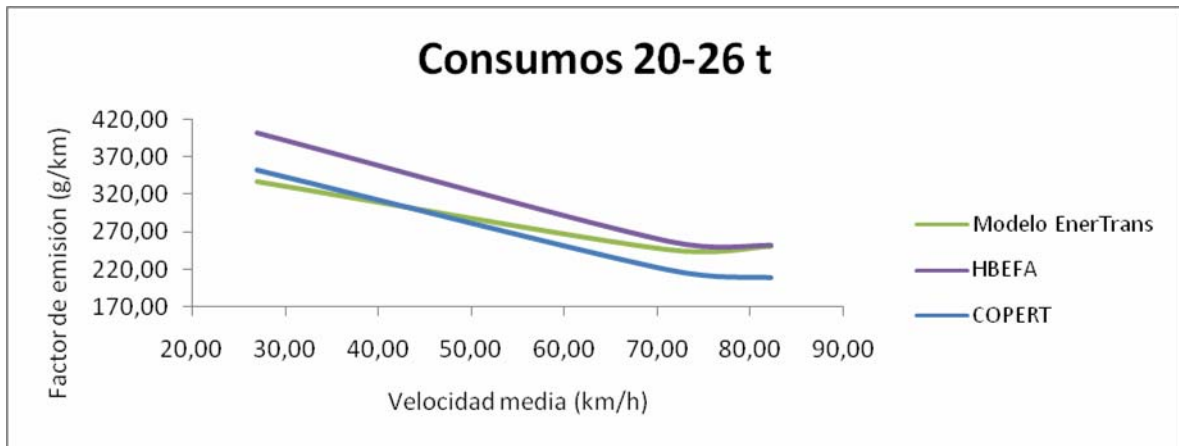
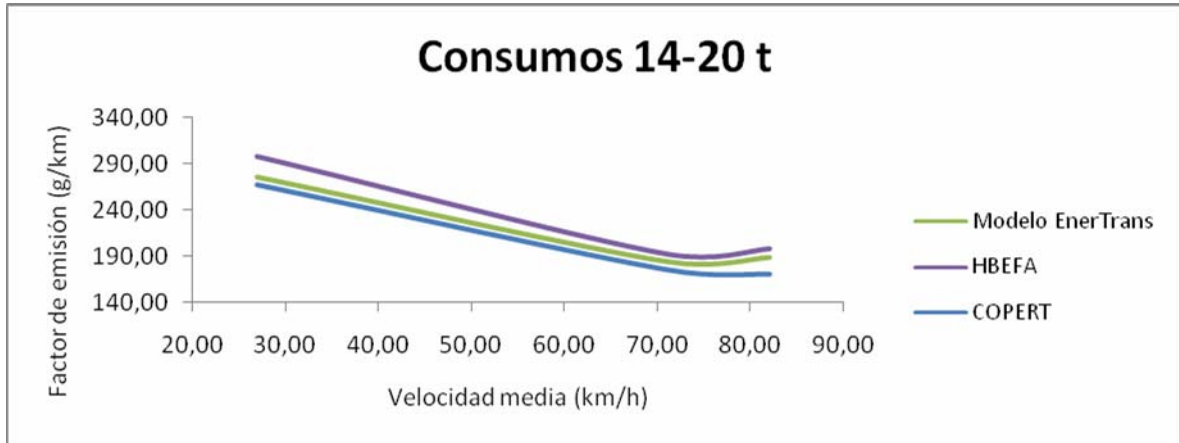
Es en este segmento donde se ha cometido el mayor error relativo. Esto se debe a que se ha tomado la función de velocidad del COPERT, ya que es el modelo más sencillo y claro en este aspecto. Sin embargo, el COPERT sólo tiene una expresión para todos los vehículos N1 de gasolina y otra para los de gasóleo, obteniéndose así factores de emisión promedio de todo el segmento.

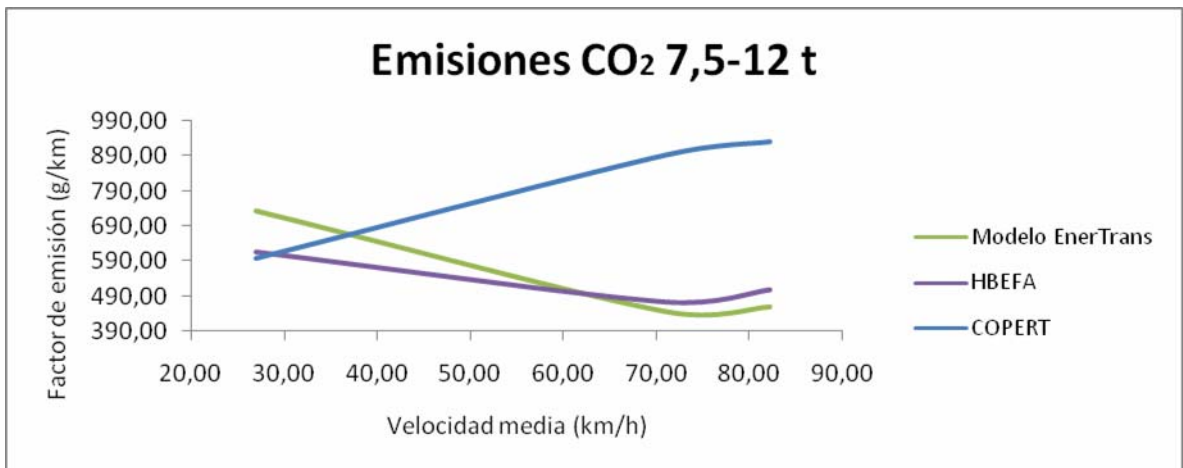
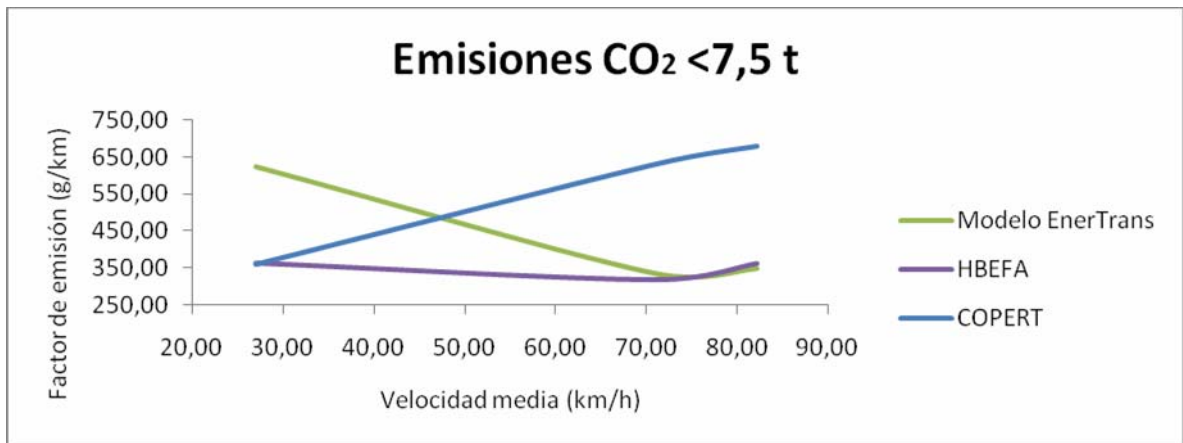
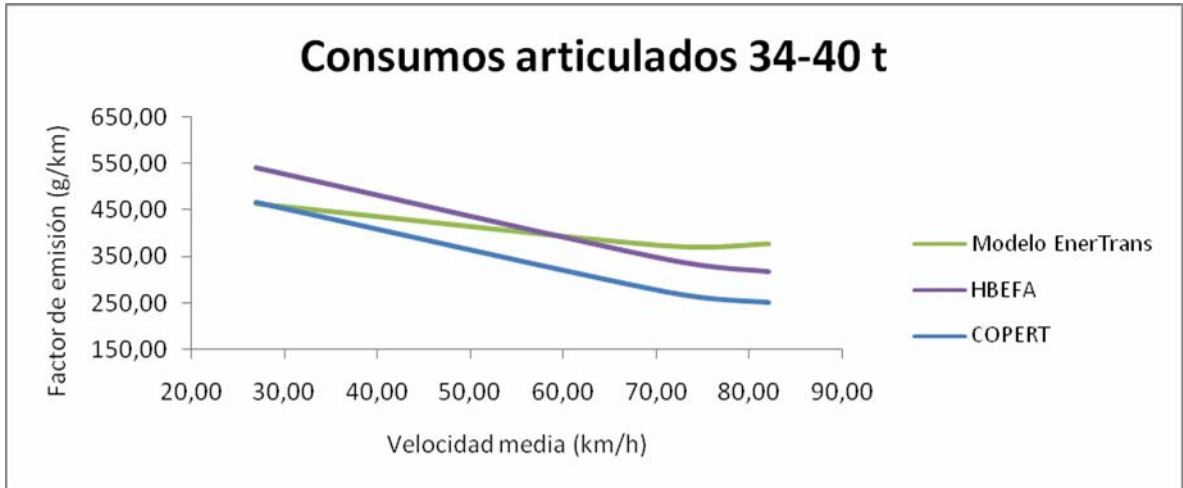
A la hora de dividirlo en tres y comparar, se ha podido comprobar que existe una desviación pequeña en el subsegmento intermedio (N1-II) como era de esperar, y se produce una desviación relativamente grande en los otros dos.

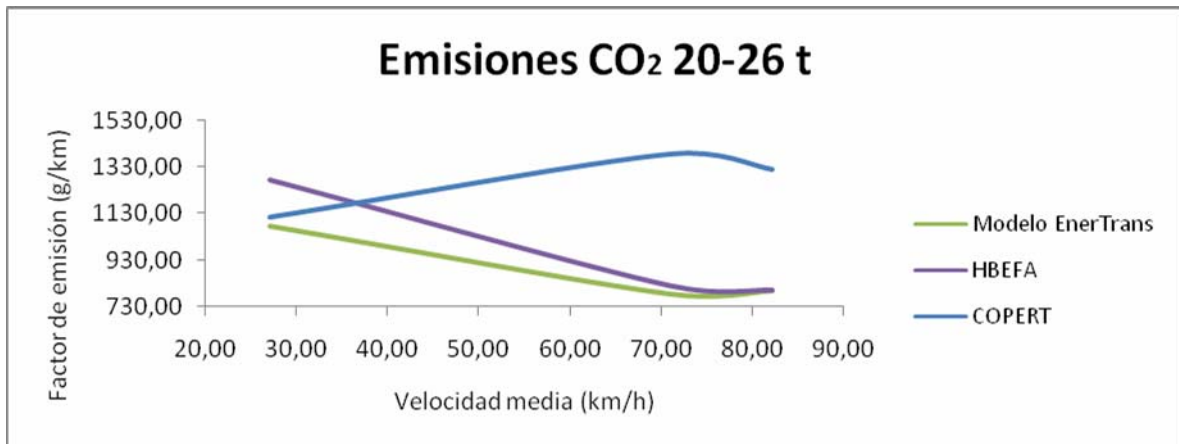
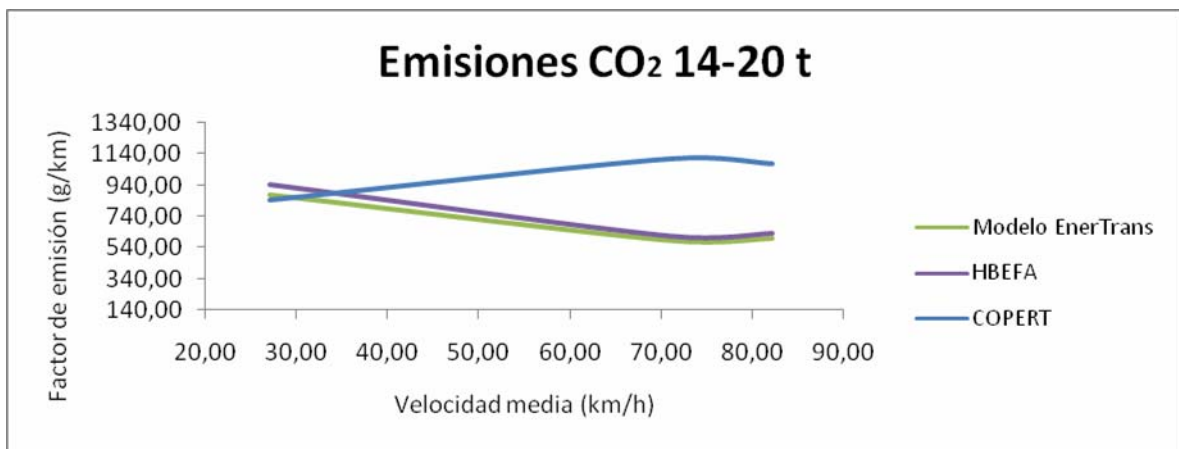
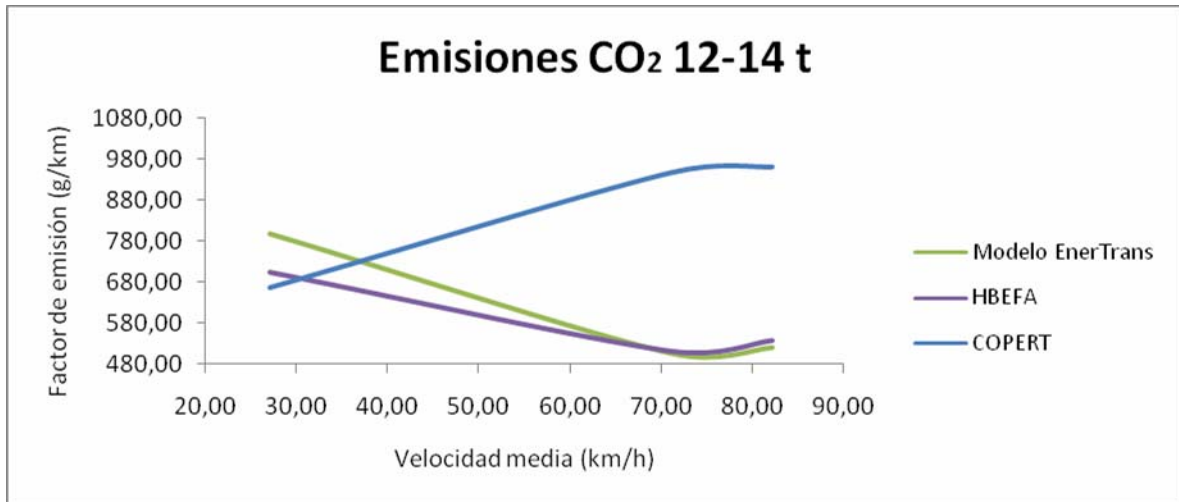
Esta circunstancia se debe a una limitación propia del modelo planteado, que intenta abarcar con una sola expresión todos los subsegmentos, por lo que se minimiza el error, pero en ocasiones no es posible minimizar en todos al mismo tiempo.

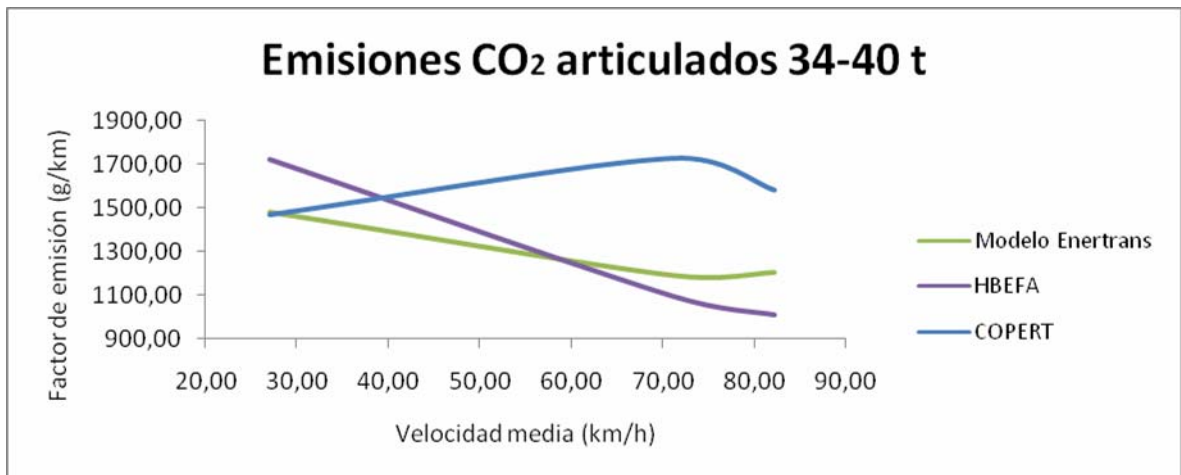
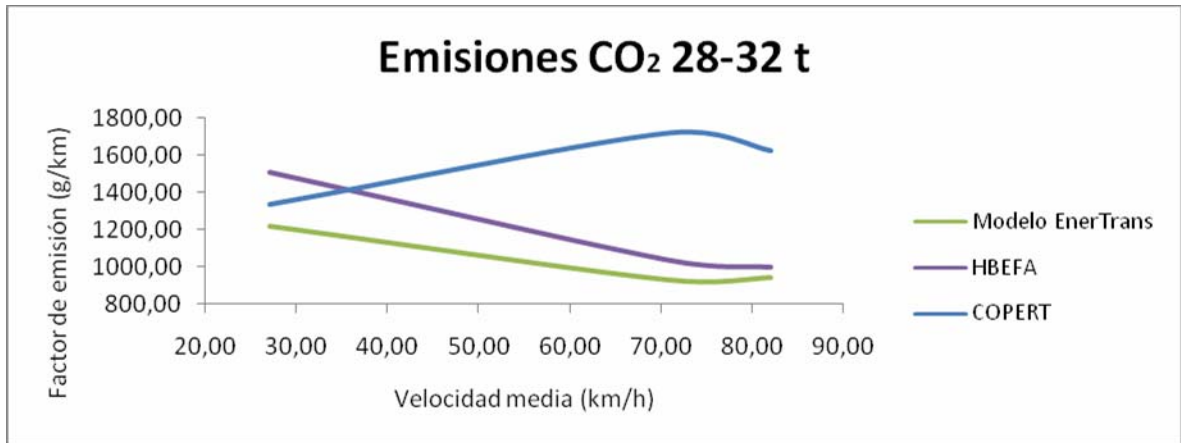
Vehículos N2N3 gasóleo











En este segmento se observa una tendencia anormal en los valores que ofrece COPERT para las emisiones de CO₂, presentando un máximo a velocidades medias en vez de un mínimo y no siendo proporcional al consumo de gasóleo. Es muy posible que los signos de los coeficientes de la fórmula correspondientes implementada en el COPERT estén invertidos. Desgraciadamente, no se dispone de acceso a la fórmula para el CO₂, por lo que no se puede verificar dichos coeficientes.

De nuevo se produce la circunstancia comentada para los vehículos N1 de gasóleo. Aunque en esta ocasión se ha tomado de curva de velocidad como un promedio del HBEFA, no es posible minimizar las desviaciones en todas las subcategorías, apareciendo un error mínimo en la intermedia (14-20 t) y máximo en los extremos (<7,5 t y 34-40 t). Aun así, la desviación media relativa para este segmento es menor que la correspondiente del segmento anterior.

Se ha comparado los factores en las mismas condiciones. Como el peso es tan importante en este tipo de vehículos, era fundamental compararlos en las mismas condiciones de carga. Dado que puede haber dudas sobre diferencias en la tara de los vehículos, se les ha comparado a carga máxima, coincidiendo entonces su peso (teóricamente) con la Masa Máxima Autorizada.

Desviaciones

Segmento	Desviación media relativa consumo combustible (%)	Desviación media relativa emisiones CO ₂ (%)
Turismos gasolina	6,05%	6,37%
Turismos gasóleo	9,13%	8,85%
Todo-terrenos gasolina	12,47%	13,78%
Todo-terrenos gasóleo	12,71%	13,12%
Vehículos N1 gasolina	7,94%	7,94%
Vehículos N1 gasóleo	17,86%	17,66%
Vehículos N2N3 gasóleo	12,44%	25,52%

En esta tabla se muestra el promedio de las diferencias entre los factores de emisión del modelo obtenido y los del resto dividido por el promedio de los valores del resto de modelos.

Se puede observar la gran desviación media provocada por el error en los datos proporcionados por COPERT para las emisiones de CO₂ en vehículos pesados.

1.1.7 Ajustes y variables más influyentes**Ajustes realizados**

Con la realización de los cálculos por ordenador, se han observado las siguientes circunstancias:

- Turismos y TT:
 - Las variables que desembocaban en el menor error posible no eran las mismas para vehículos de gasolina y para vehículos diesel. Se ha optado por prevalecer un modelo coherente y común para ambos, con el menor error posible pero no mínimo para cada caso.
 - Como se comenta en el apartado de construcción del modelo, la forma de la curva de velocidad media ha tenido que ser tomada de COPERT para asegurar una relación entre situaciones habituales de conducción y consumos más reales. Si se considera la curva de velocidad media obtenida utilizando los tres valores del ensayo de homologación (urbano, extraurbano y mixto), los consumos a partir de 80 km/h aproximadamente salen desproporcionados y no reales.
 - A pesar de todo el ajuste, y comparando los factores de emisión resultantes con los del resto de modelos disponibles actualmente, se ha podido observar que estos siempre son mayores, por lo que ha sido necesario un ligero ajuste que supone una mayoración y que correspondería al ajuste para pasar de ciclo de ensayo a ciclo real. Esta circunstancia se explica en el apartado de validación del modelo.
- Vehículos N1
 - En este segmento no se ha puesto énfasis sobre la coherencia del modelo para que hubiera una equivalencia entre el correspondiente a gasolina y el correspondiente a gasóleo, pues los vehículos que

componen las muestras de una y otra motorización son distintos. Mientras en gasóleo existe una alta variedad en peso, cilindrada, etc., en gasolina todos los modelos son muy similares, y apenas hay características que explican las diferencias entre unos y otros.

- Al igual que en el segmento anterior, también ha sido necesario utilizar la función de velocidad de COPERT, aunque en este caso su expresión es más simple.
- Vehículos N2/N3
 - Para este segmento la ausencia de ensayo de consumo de combustible obligatorio ha supuesto una gran inconveniente, al obligar la elección del HBEFA como fuente de información, teniendo como consecuencia la reducción drástica de datos.
 - Debido a esto no se ha podido hallar las características más relevantes aparte del peso, ya que seguir el mismo planteamiento que para los otros dos segmentos no aportaba información al no variar el consumo de unos vehículos a otros con el mismo peso pero diferentes características.
 - La función de velocidad se ha obtenido de HBEFA a partir de las velocidades medias. El problema que se ha planteado es que existe una función distinta para cada sub-segmento. Se ha empleado una media, de tal manera que existe un error relativamente grande en los extremos de la muestra (en cuanto a Masa Máxima Autorizada) y un error pequeño en el centro.

Estudio de las variables más influyentes

A continuación se muestra en tablas por segmento los variables que más influyen en el consumo de los vehículos de la muestra estudiada. Se indican los factores por orden de influencia, junto con el p-valor resultante del análisis estadístico. Este valor es muy importante, ya que cuanto más pequeño, más influencia tiene la variable.

Uno de los criterios para seleccionar variables radicaba en que el análisis T y F del estudio mostraran una confianza del 95%. Esto quiere decir que se puede asegurar con este nivel de confianza que la variable influye sobre el consumo (análisis T) y que ninguno de los coeficientes resultantes es igual a otro (análisis F).

Como ya se ha comentado, no ha sido posible en todos los casos cumplir todos los criterios, por lo que se ha dado prioridad a unos sobre otros.

Por ejemplo, en turismos y todo-terrenos se ha dado prioridad a que los dos modelos mostraran las mismas variables, ya que en la actualidad se sabe que la diferencia entre los modelos de una motorización y otra no es muy grande y radica prácticamente sólo en el motor.

En cambio, vehículos N1 se ha dado prioridad a minimizar el error, ya que las características de los modelos con una motorización y otra sí son apreciables en este caso.

- Turismo gasolina:

Grupo de variables	Motor	Vehículo	Global
Primer factor	Cilindrada	Peso/Potencia	Velocidad
P-valor	2,274e-79	0	6,04e-192
Segundo factor	Sobrealimentación	Peso	Motor
P-valor	0,000158	3,8489e-54	7,44e-11
Tercer factor	Marcha más larga		Vehículo
P-valor	0,000235		1,82e-6
Valor R ²	0,854	0,830	0,851

- Turismo gasóleo

Grupo de variables	Motor	Vehículo	Global
Primer factor	Cilindrada	Peso	Vehículo
P-valor	2,597e-13	7,320e-66	0
Segundo factor	Potencia máxima	Peso/Potencia	Velocidad
P-valor	0,000270	5,605e-08	2,97e-162
Tercer factor	Marcha más larga		Motor
P-valor	0,00153		0,010483
Valor R ²	0,755	0,828	0,869

- Todo-terreno gasolina

Grupo de variables	Motor	Vehículo	Global
Primer factor	Cilindrada	Peso	Velocidad
P-valor	1,77e-25	5,676e-10	5,701e-36
Segundo factor	Sobrealimentación	Peso/Par	Vehículo
P-valor	0,0131	0,00192	8,94e-5
Tercer factor			Motor
P-valor			0,1377
Valor R ²	0,91	0,87	0,90

- Todo-terreno de gasóleo

Grupo de variables	Motor	Vehículo	Global
Primer factor	Cilindrada	Peso	Velocidad
P-valor	3,687e-18	3,460e-21	3,94e-53
Segundo factor	Marcha más larga	Peso/Par	Vehículo
P-valor	0,0001623	0,1092	1,09e-12
Tercer factor			Motor
P-valor			2,85e-6
Valor R ²	0,655	0,70	0,86

- Vehículos N1 de gasolina

Grupo de variables	Motor	Vehículo	Global
Primer factor	-	Peso	Velocidad
P-valor	-	0,00158	3,06e-17
Segundo factor	-	Perfil neumático	Vehículo
P-valor	-	0,0337	6,95e-6
Valor R ²	-	0,65	0,96

- Vehículos N1 de gasóleo

Grupo de variables	Motor	Vehículo	Global
Primer factor	Cilindrada	MMA	Velocidad
P-valor	4,778e-27	2,48e-6	5,66e-46
Segundo factor		Peso	Motor
P-valor		0,00159	6,91e-13
Tercer factor		Peso/Par	Vehículo
P-valor		0,0788	2,55e15
Valor R ²	0,87	0,91	0,94

- Vehículos N2/N3 de gasóleo

Grupo de variables	Motor	Vehículo	Global
Primer factor	-	MMA/MMC	Vehículo
P-valor	-	3,78e-58	4,385e-178
Segundo factor	-	Carga	Velocidad
P-valor	-	3,52e-56	1,42e-85
Valor R²	-	0,95	0,88

Tendencias observadas:

- Turismos y TT:
 1. La relación entre la cilindrada y los consumos es directa.
 2. La relación entre el peso y los consumos siempre es directa.
 3. La relación entre la marcha más larga y los consumos siempre es inversa.
 4. Se echan en falta variables a priori influyentes sobre los consumos, como la relación de compresión o el número de cilindros. Esto se debe a que el modelo no explica los consumos de un coche en concreto, sino las diferencias con los demás.
 5. La relación entre la relación Peso/Potencia y el consumo es inversa. Esto puede deberse a dos circunstancias:
 - a. En versiones distintas del mismo modelo, con el resto de características idénticas, una motorización más potente significa más consumo.
 - b. Existe una cierta tendencia de mercado en la que, a mayor tamaño del vehículo, menor relación Peso/Potencia. Esto técnicamente no tendría por qué ser así, indica más deportividad en modelos grandes no siempre necesaria.
 6. En TT de gasóleo no se da esta circunstancia. Se debe seguramente a que en este segmento no existe esta tendencia de mercado.
 7. En gasolina siempre afecta más la cilindrada que en Diesel. Esto puede deberse a que la variabilidad de la cilindrada en gasolina siempre es mayor y explica mejor las diferencias de consumo.
 8. En gasolina siempre afecta menos el peso total que en Diesel. Esto puede estar en relación con lo anterior, con lo que las diferencias en peso entre unos modelos y otros en Diesel afectan más a los consumos.
 9. En turismos gasolina afecta más la marcha más larga que en Diesel, y en TT al contrario. La marcha más larga de una caja de cambios busca el mejor rendimiento del motor pero también obedece a otros criterios como un mejor consumo en autovía. El ensayo de homologación contempla un ciclo no urbano en el que se alcanza una velocidad máxima de 120 km/h y la utilización de la marcha más larga, por lo que efectivamente el ensayo recoge la influencia de dicha relación de velocidad. Esto también puede deberse a la muestra escogida. Es posible que con otra muestra la marcha más larga no afectase tanto en los modelos correspondientes.

10. En turismos gasolina afecta más la sobrealimentación que la potencia máxima. En turismos Diesel no hay esta diferencia porque todos están sobrealimentados. En TT también se da esta circunstancia.
11. En TT gasolina no aparece la marcha más larga como factor, si en Diesel. En TT Diesel no aparece la potencia máxima como factor. Esto se debe a que la diferencia de influencias entre la marcha más larga y la potencia es mucho mayor en TT que en turismos.
12. En TT Diesel la relación Peso/Par no influye apenas, al contrario que en gasolina, pero se mantiene por coherencia de modelos.
13. En gasolina siempre es más determinante la cilindrada que el peso.
14. En Diesel siempre es más determinante el peso que la cilindrada.
15. En general siempre afecta más el grupo de variables de velocidad. En turismos Diesel la influencia de velocidad y características del vehículo es muy similar.
16. En gasóleo el ajuste siempre es peor en el grupo de variables de motor; en gasolina sucede lo mismo con el grupo de variables de vehículo. Esto indica qué características influyen más en el consumo en cada caso.

- Vehículos N1
 1. Los vehículos agrupados como N1 de gasolina no tienen exactamente las mismas características que los de gasóleo. Por eso los resultados no son del todo comparables.
 2. Los vehículos N1 de gasolina son casi todos comerciales derivados de turismo. Su número es reducido y sus características similares, por lo que apenas se pueden hallar variables que expliquen las diferencias de consumo entre ellos, obteniéndose resultados inesperados. Por ejemplo, la influencia del perfil de los neumáticos. Según el modelo, es una característica que les diferencia después del peso. Tampoco afectan las características del motor, al tener todos ellos prácticamente la misma motorización.
 3. Los vehículos N1 de gasolina apenas se ven afectados por su MMA, a diferencia de los N1 Diesel. Esto se puede deber por un lado a la similitud entre los vehículos N1 de gasolina y por otro a la mayor relación MMA/Peso de los N1 Diesel.
 4. La tendencia observada para la relación Peso/Par de los N1 Diesel es la misma que para turismos, no obstante afectando que el peso a los consumos.
 5. En la fórmula global, el término de velocidad es el más influyente para N1 Diesel, de forma similar al resto de vehículos de gasóleo analizados.
- Vehículos N2N3
 1. En esta categoría no existen vehículos de gasolina.
 2. Al no existir pruebas obligatorias iguales que para el resto de vehículos, es difícil comparar con estos.
 3. La fuente de datos utilizada es diferente, estando muy limitado el número de variables que afectan. Sólo quedan el peso y la carga.
 4. La relación entre el peso y los consumos siempre es directa
 5. La influencia de la carga es mayor que la del tamaño, aunque siempre hay una relación entre la MMA del vehículo y la máxima carga que puede transportar (carga útil).
 6. Además, la influencia de las características del vehículo es mayor que la de la velocidad media.

1.1.8 Consumos en frío

En los modelos precedentes también se ha estudiado, aunque no se le ha dado la misma importancia, los consumos y emisiones debidas al arranque y recorridos en frío, es decir, hasta que el motor y el catalizador alcanzan sus condiciones óptimas de funcionamiento. En ellos se ha estudiado los factores que más influyen y se ha obtenido de alguna forma expresiones que permitan calcular factores de corrección por el exceso de consumo y emisiones que tienen lugar en este momento.

El planteamiento teórico para cuantificar estas cantidades queda descartado desde el principio, por el poco conocimiento que se tiene de momento sobre los estados transitorios en un motor de combustión. Sería necesario un estudio complejo y costoso. En cambio, se suele utilizar expresiones empíricas que permitan calcular rápidamente un valor orientativo.

En general, se suele relacionar la cantidad de exceso de consumo y emisiones en frío con las siguientes variables:

- Temperatura exterior: Generalmente, cuanto más baja es la temperatura ambiente en el momento del arranque, más tiempo debe pasar hasta que el motor alcanza su temperatura óptima. Tanto el COPERT como el HBEFA tienen en cuenta este factor.
- Tiempo en aparcamiento: Para que se produzca un arranque en frío real, con el motor a temperatura ambiente y los líquidos completamente en reposo, deben pasar al menos 8 h desde que se apagó el motor. Si no llega a pasar este tiempo, debe hacerse una corrección, y el exceso de emisiones será menor que si el arranque fuera realmente en frío. Tanto el COPERT como el HBEFA tienen en cuenta este factor.
- Recorrido en frío: La duración del trayecto no tiene porqué ser mayor que el tiempo necesario para que el motor se caliente. Por ello, es necesario tener esto en cuenta para calcular un factor de corrección. El COPERT lo cuantifica a través de la velocidad media y distancia recorrida en el trayecto inicial. El HBEFA lo cuantifica a través de la situación del tráfico y la distancia recorrida en el mismo trayecto.

Estos dos estudios se centran en obtener las emisiones contaminantes (CO, NO_x y HC) para esta etapa, ya que se produce un exceso de las mismas debido a que el catalizador todavía no realiza su labor correctamente, aunque también existen expresiones para el exceso de combustible y de CO₂ (no contaminante). Sólo el HBEFA contiene valores diferentes para cada segmento. En el COPERT sólo se proporciona un valor genérico para vehículos gasolina con catalizador y otro para vehículos diesel sin catalizador. En cambio, el HBEFA proporciona distintos valores para cada segmento, por lo que se ha tomado esta fuente para realizar un modelo similar al de las emisiones en caliente, aunque mucho más sencillo.

Se ha tomado a partir de una muestra de vehículos, las características medias de los vehículos pertenecientes a los segmentos de HBEFA, para así relacionar dichas características, junto con la temperatura exterior, con los excesos de combustible. El tamaño de la muestra era muy pequeño, lo que ha impedido un estudio más exhaustivo. Se ha supuesto que el tipo de arranque mayoritario es en frío completamente, es decir, que generalmente pasan unas 8 horas desde que se apaga hasta que se vuelve a arrancar, aunque también se puede considerar que a partir de 4-5h el arranque es prácticamente en frío. Por otro lado, también se ha supuesto que la distancia media recorrida es mayor de 4 km, estimación de kilometraje en frío. Si se quisiera considerar que esto no siempre ocurre así, en el HBEFA se encuentran disponibles unos factores de corrección a tal efecto.

Así, se ha obtenido las siguientes fórmulas, expresadas en l/100 km por arrancada:

Turismos gasolina

Fórmula

$$\text{CONSUMO} = \left(0,285 - 0,01131 \times P/Pot + \right. \\
 \left. - 0,00436 \times T \right)$$

Características generales vehículo → (pointing to the first box)
Temperatura → (pointing to the second box)

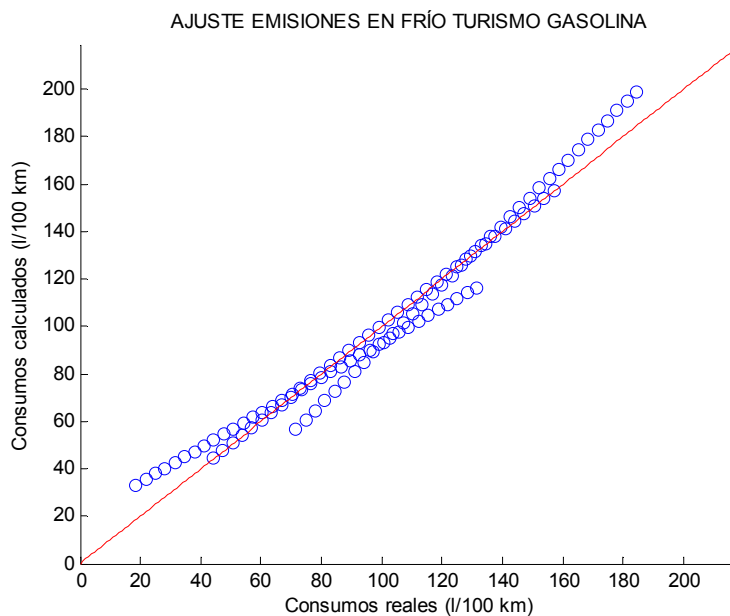
Constante de emisiones de CO₂:

Emisiones CO₂ (g/km) = Consumo (g/km) x 3,175.

Parámetros de la regresión

Parámetro	Valor
R ²	0,97
Error medio relativo (%)	6,70
Error medio absoluto (l)	7,09x10 ⁻³

Comparativa consumos reales-consumos calculados



Turismos gasóleo

Fórmula

$$\text{CONSUMO} = \boxed{0,220 - 0,00868 \times P/Pot} + \boxed{- 0,00319 \times T}$$

Características generales vehículo ↑
 ↓
Temperatura ↑

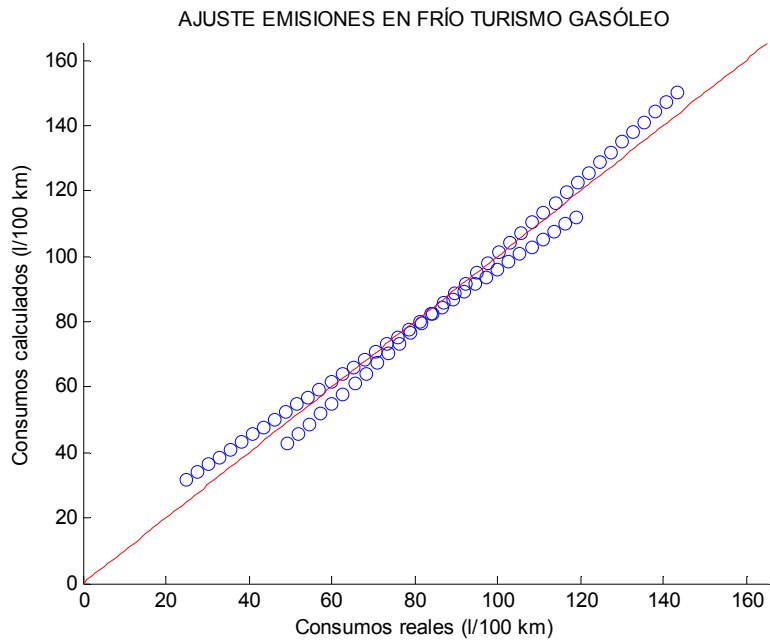
Constante de emisiones de CO₂:

Emisiones CO₂ (g/km)= Consumo (g/km) x 3,175.

Parámetros de la regresión

Parámetro	Valor
R ²	0,98
Error medio relativo (%)	5,19
Error medio absoluto (l)	4,19x10 ⁻³

Comparativa consumos reales-consumos calculados



Vehículos N1 gasolina

Fórmula

$$\text{CONSUMO} = 0,1652 - 00,00397 \times T$$

Temperatura \longleftarrow

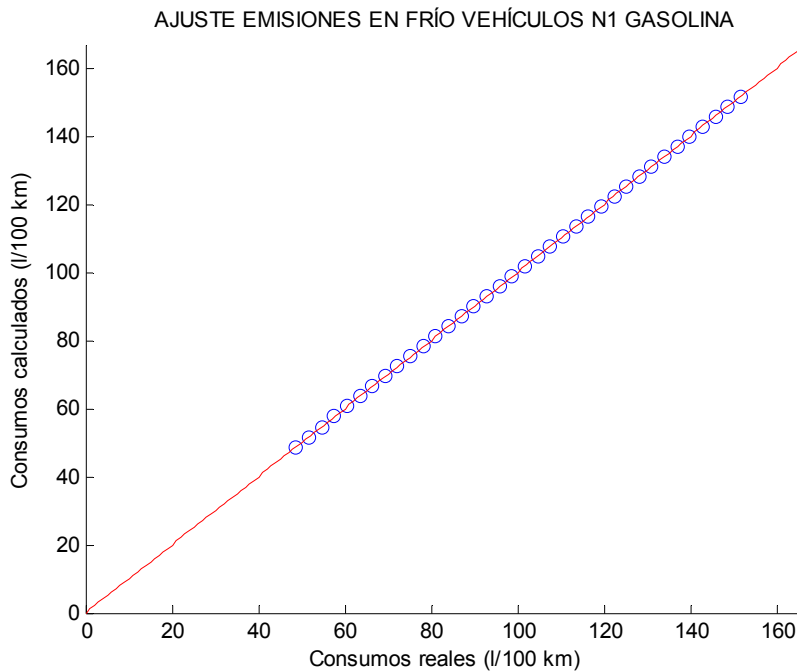
Constante de emisiones de CO₂:

Emisiones CO₂ (g/km) = Consumo (g/km) x 3,175.

Parámetros de la regresión

Parámetro	Valor
R ²	1
Error medio relativo (%)	0
Error medio absoluto (l)	0

Comparativa consumos reales-consumos calculados



Vehículos N1 gasóleo

Fórmula

$$\text{CONSUMO} = -0,1166 + 1,31 \times 10^{-4} \times \text{MMA} + (-0,003145 \times T)$$

Características generales vehículo
Temperatura

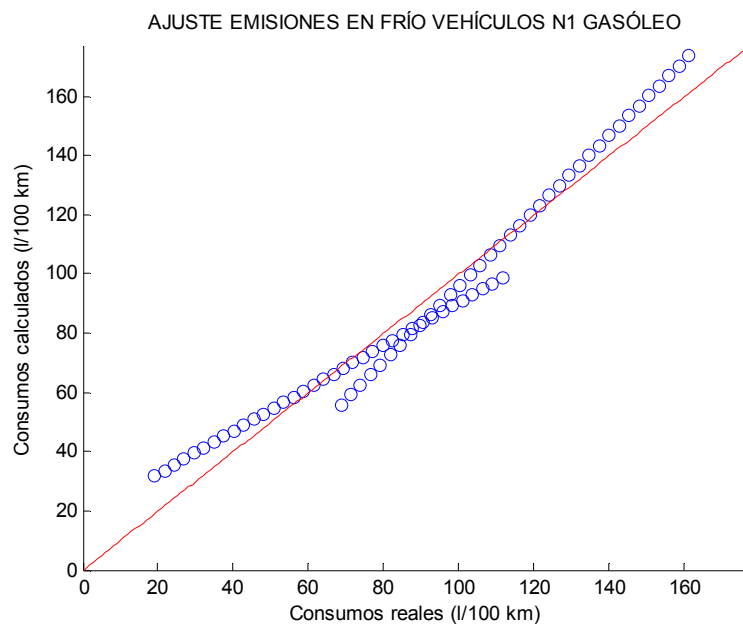
Constante de emisiones de CO₂:

Emisiones CO₂ (g/km) = Consumo (g/km) x 3,175.

Parámetros de la regresión

Parámetro	Valor
R ²	0,96
Error medio relativo (%)	9,23
Error medio absoluto (l)	7,79x10 ⁻³

Comparativa consumos reales-consumos calculados



En el HBEFA no aparece el segmento todo-terreno como tal, por lo que la fórmula aplicada a turismos será también válida para estos vehículos.

Por otro lado, todavía no existe ningún estudio que muestre conclusiones claras sobre este tipo de emisiones en vehículos de categoría N2 y N3, por lo que no se ha podido hallar ninguna fórmula para este segmento.

Una vez que se tiene estas fórmulas, es necesario conocer las temperaturas medias en España. Se muestran en la siguiente tabla (período 1971-2000, Agencia Estatal de Meteorología AEMET).

Tabla 1: Temperaturas medias en España

Mes	Tª media (°C)	Tª máxima (°C)	Tª mínima (°C)
Enero	8,86	13,09	4,64
Febrero	10,06	14,71	5,43
Marzo	11,81	17,00	6,60
Abril	13,13	18,44	8,22
Mayo	16,53	21,79	11,29
Junio	20,16	25,74	14,60
Julio	23,16	29,12	17,20
Agosto	23,39	29,26	17,54
Septiembre	20,83	26,38	15,27
Octubre	16,59	21,47	11,74
Noviembre	12,36	16,73	7,98
Diciembre	9,87	13,83	5,93
PROMEDIO	15,86	20,63	10,54

Fuente: AEMET

Conociendo estos datos, y suponiendo una cantidad aproximada de arranques por año, se puede calcular la cantidad total de consumos y emisiones por este concepto a lo largo de toda la vida útil del automóvil. Los valores resultantes se muestran en el apartado de resultados totales de uso.

Se ha supuesto que la gran mayoría de arranques de un vehículo se producen en ciudad, por lo que los resultados se imputarán a este tipo de recorrido exclusivamente.

Estudio de las variables más influyentes

A continuación se muestra en tablas por segmento los variables que más influyen en el consumo de los vehículos de la muestra estudiada. Se indica los factores por orden de influencia, junto con el p-valor resultante del análisis estadístico. Los criterios han sido los mismos que para el modelo de consumos en caliente, aunque en este caso el reducido tamaño de la muestra ha obligado a expresiones de únicamente dos factores, siendo uno de ellos siempre la temperatura.

- Turismo gasolina:

Factor	Variable
Primer factor	Temperatura
P-valor	3,65e-73
Segundo factor	Peso/Potencia
P-valor	1,71e-54
Valor R²	0,97

- Turismo gasóleo

Factor	Variable
Primer factor	Temperatura
P-valor	8,67e-60
Segundo factor	Peso/Potencia
P-valor	2,30e-36
Valor R ²	0,98

- Vehículos N1 de gasolina

Factor	Variable
Primer factor	Temperatura
P-valor	6,86e-125
Segundo factor	-
P-valor	-
Valor R ²	1

- Vehículos N1 de gasóleo

Factor	Variable
Primer factor	Temperatura
P-valor	1,85e-41
Segundo factor	MMA
P-valor	1,17e-38
Valor R ²	0,96

Como se puede ver, la temperatura exterior es siempre el factor más importante. A medida que aumenta, no sólo los factores de consumo son menores, sino que además hay menos diferencia entre unos vehículos y otros.

1.1.9 Consumos de auxiliares

El consumo de elementos auxiliares en el automóvil no ha sido estudiado hasta el momento tan en profundidad como el consumo en caliente, sobre todo debido a que no existen apenas patrones que permitan aislar de manera clara el consumo correspondiente a estos dispositivos del total del vehículo. Además, el abanico de opciones de utilización es enorme, aumentado este efecto por la cantidad de elementos que se ha incorporado en los últimos tiempos en los automóviles para maximizar el confort de los ocupantes.

Las escasas referencias que existen hasta ahora sobre el tema indican que es el aire acondicionado el dispositivo que mayor consumo supone, aunque también es importante el calentador para la climatización en invierno.

El consumo asociado al aire acondicionado se puede asociar en cierta manera a los siguientes factores:

- La temperatura exterior: Cuanto mayor sea, mayor será la energía necesaria para mantener la temperatura en el interior del habitáculo.
- El aislamiento del habitáculo: Cuanto mejor sea el aislamiento, menor será el flujo de calor hacia el exterior y por tanto menor la energía necesaria para mantener la diferencia de temperatura con el exterior.
- La rapidez de enfriamiento del habitáculo: Cuanta más rapidez se requiera, más energía se consumirá. Esto está relacionado con el comportamiento de la persona que maneje el aparato y con los dos factores anteriores.
- El peso de los dispositivos: Como se ha comentado y comprobado en el modelo, el peso total del vehículo influye enormemente en el consumo total del coche. Por lo tanto, un aumento del peso debido a la colocación de elementos adicionales, conllevará un aumento en el consumo de combustible. Se trata de cuantificar qué parte de dicho aumento corresponde al debido por la instalación de auxiliares.

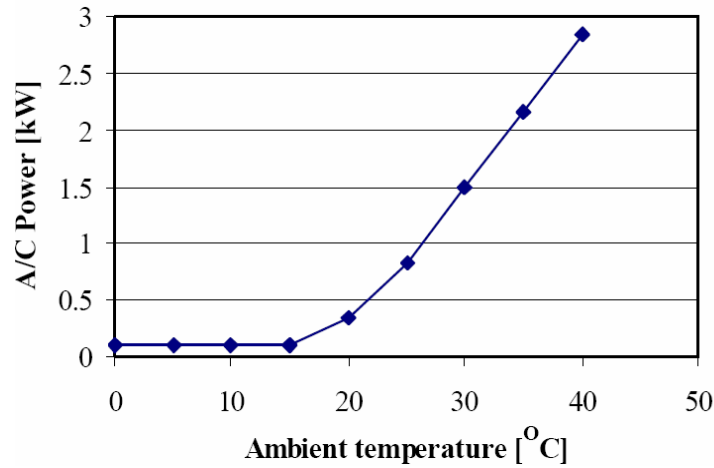
A partir de este punto hay que tener en cuenta la actitud del conductor o la persona que actúe sobre el dispositivo, ya que cada persona tiene unos hábitos diferentes a otra. Se puede asociar de alguna manera la utilización del aire acondicionado con la temperatura exterior, y más concretamente, con la distribución de temperaturas medias en cada país. En aquellos que sean más calurosos, como España (dentro de Europa), se tenderá a utilizar más el aire acondicionado, como se ha podido comprobar por la masiva instalación de este aparato en los últimos años en todos los vehículos. En aquellos países menos calurosos se utilizará menos el aire acondicionado, aunque quizá más el calentador.

Por otro lado, si existe poca información acerca del consumo debido al aire acondicionado, todavía son más escasas las referencias hacia los calentadores, haciéndose muy complicado un cálculo aplicado a España.

En (Rijkeboer et al ,2002) se propone una modificación del ensayo de homologación de vehículos en el que se incluya de alguna forma el efecto de estos auxiliares, que empieza a ser importante en los vehículos actuales por las razones que se ha comentado. En este informe se tiene en cuenta algunas referencias anteriores para estimar de manera superficial un valor de consumo extra por auxiliares, con vistas a justificar la modificación del ensayo. Se puede encontrar en él orientaciones:

Consumo en vehículos de gasolina: 4,5 kW/(kW AA).

Figura 1: Relación entre la temperatura exterior y la potencia requerida del A/A



Fuente: Rijkeboer et al (2002)

Consumo en vehículos diesel: 5,5 kW/(kW AA)

Teniendo esto en cuenta, podemos hacer un cálculo estimativo para el caso de España, conociendo las temperaturas medias y las velocidades medias por tipo de recorrido.

Conociendo estos datos, podemos hallar un valor final estimativo para un turismo medio:

Tabla 2: Consumo de combustible debido al aire acondicionado (l/100km)

Vehículo	Ciudad	Vía secundaria	Autovía/Autopista
Gasolina	0,68	0,26	0,19
Diesel	0,72	0,26	0,18

Fuente: Elaboración propia

Para el cálculo de las emisiones de CO₂ se ha tenido en cuenta la proporcionalidad con el consumo explicada en la obtención del modelo. Se aplican las constantes correspondientes.

Tabla 3: Emisiones de CO₂ debido al aire acondicionado (g/km)

Vehículo	Ciudad	Vía secundaria	Autovía/Autopista
Gasolina	15,89	6,08	4,44
Diesel	19,69	7,11	5,01

Fuente: Elaboración propia

Desafortunadamente, no se ha podido reunir información que relacione estos resultados con el tamaño del vehículo, por lo que se asocia los valores obtenidos con un vehículo de tamaño medio y se supondrá que existe una cierta proporcionalidad, siempre teniendo en cuenta la distribución de temperaturas medias y las velocidades medias de cada tipo de recorrido. Esto puede ser bastante aproximado ya que la diferencia entre unos vehículos y otros, en cuanto al aire acondicionado se refiere,

vendrá dada por la diferencia del espacio de la cabina, relacionado con el tamaño del vehículo.

Por lo tanto, tomando el modelo de consumos construido para este proyecto, junto con las características medias de los turismos, expuestas en el apartado de recopilación de datos, tenemos que la proporción entre el consumo debido al aire acondicionado y el consumo normal en caliente es:

Tabla 4: Proporción entre consumo de AA y consumo en caliente (%)

Vehículo	Ciudad	Vía secundaria	Autovía/Autopista
Gasolina	5,5	3,2	2,2
Diesel	9,8	5,3	3,5

Fuente: Elaboración propia

Esto quiere decir que para calcular el consumo de combustible total incluido el aire acondicionado, habrá que multiplicar el factor de consumo por estas constantes de corrección. Por ejemplo, en turismos gasolina en ciudad la constante sería 1,055 y en turismos diesel en autovía sería 1,035. Las constantes para las emisiones de CO₂ son las mismas.

Se puede observar que el consumo en vehículos de gasóleo siempre es mayor. Esto es coherente con otra referencia bibliográfica consultada (Barbusse, S.; Gagnepain, L., 2003).

Como no se dispone de más referencia, se supondrá que dichas constantes son válidas también para todo-terrenos, vehículos N1, N2 y N3. En cualquier caso, y dado que el acondicionador de aire no siempre tiene porqué estar encendido, se puede corregir la constante (K) con un factor de utilización (FU):

$$K = 1 + Prop.xFU$$

Siendo Prop. cualquiera de los valores de la tabla anterior, expresado en tanto por 1; y FU el factor de utilización expresado también en tanto por 1. Para este estudio se ha tomado un FU de 0,85.

En la referencia consultada (Rijkeboer et al ,2002), se hace estimaciones sobre los consumos asociados a calentadores que permiten subir la temperatura del habitáculo en invierno. Sin embargo, los datos aportados no son suficientes para hacer un cálculo del mismo tipo que el referido al aire acondicionado, aunque sí se tiene una idea del orden de magnitud del consumo asociado, el cual es bastante menor que el del AA (calentadores por combustible) o un poco menor (calentadores eléctricos por termistores). Esta circunstancia, añadida a que en España el uso de los calentadores es bajo frente al de AA debido a las mayores temperaturas medias, hace que para este estudio se haya despreciado la influencia de estos dispositivos en el consumo y en las emisiones.

Los resultados obtenidos se muestran en el siguiente apartado.

1.1.10 Resultados

A continuación se exponen todas las gráficas correspondientes a esta etapa. En primer lugar, se presentan los resultados por uso en caliente, descontando el aire acondicionado; después se presentan los resultados de exceso de consumo y emisiones por utilización en frío; seguidamente los resultados debidos al uso de aire acondicionado y por último los resultados totales.

Tabla 5: Resultados de consumo y emisiones por uso en vehículos de gasolina

	Turismos	Todo-Terrenos	Vehículos N1	Vehículos N2 y N3
Peso	1.415	1.831	1.196	N/A
Energía				
Caliente(MJ/veh)	628.953	796.813	626.000	N/A
Frío (MJ/veh)	39.569	36.855	33.882	N/A
Caliente + Aux (MJ/veh)	649.329	822.549	648.880	N/A
Aux (MJ/veh)	20.376	25.736	22.880	N/A
Total (MJ/veh)	688.898	859.404	682.762	N/A
Emisiones CO₂				
Caliente(kg/veh)	45.796	58.018	45.274	N/A
Frío(kg/veh)	2.862	2.665	2.450	N/A
Caliente + Aux (kg/veh)	47.280	59.892	46.929	N/A
AA (kg/veh)	1.484	1.874	1.655	N/A
Total (kg/veh)	50.141	62.558	49.379	N/A

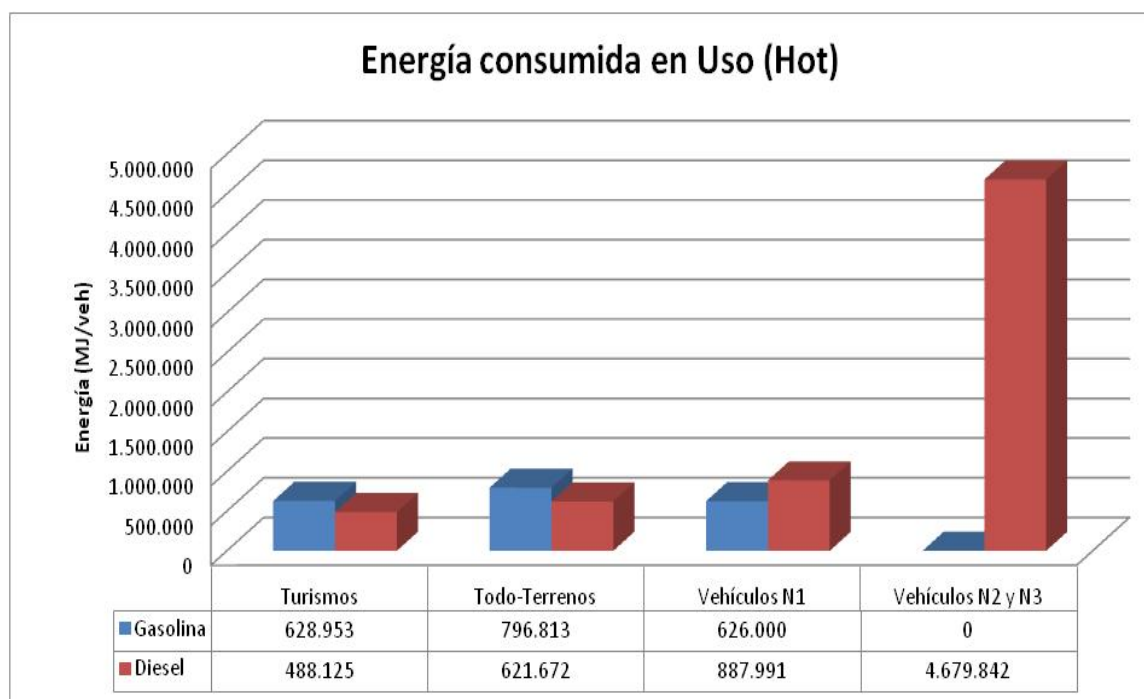
Fuente: Elaboración propia

Tabla 6: Resultados de consumo y emisiones por uso en vehículos de gasóleo

	Turismos	Todo-Terrenos	Vehículos N1	Vehículos N2 y N3
Peso	1.496	1.932	1.632	6.125
Energía				
Caliente(MJ/veh)	488.125	621.672	887.991	4.679.842
Frío (MJ/veh)	27.762	23.328	64.544	0
Caliente+Aux (MJ/veh)	517.540	659.147	947.384	4.819.068
Aux (MJ/veh)	29.415	37.475	59.393	139.225
Total (MJ/veh)	545.302	682.475	1.011.928	4.819.068
Emisiones CO₂				
Caliente(kg/veh)	37.037	46.081	65.822	346.892
Frío (kg/veh)	2.052	1.724	4.668	0
Caliente+Aux (kg/veh)	39.269	48.859	70.225	357.212
Aux (kg/veh)	2.232	2.778	4.403	10.320
Total (kg/veh)	41.321	50.583	74.893	357.212

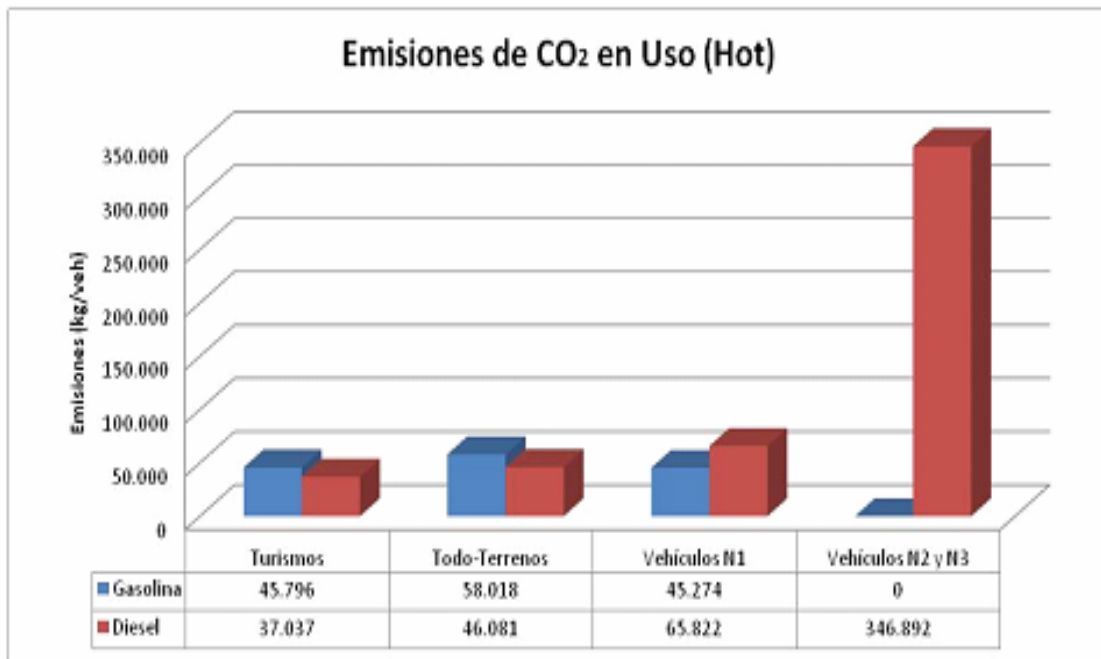
Fuente: Elaboración propia

Gráfica 1: Energía consumida por uso en caliente



Fuente: Elaboración propia

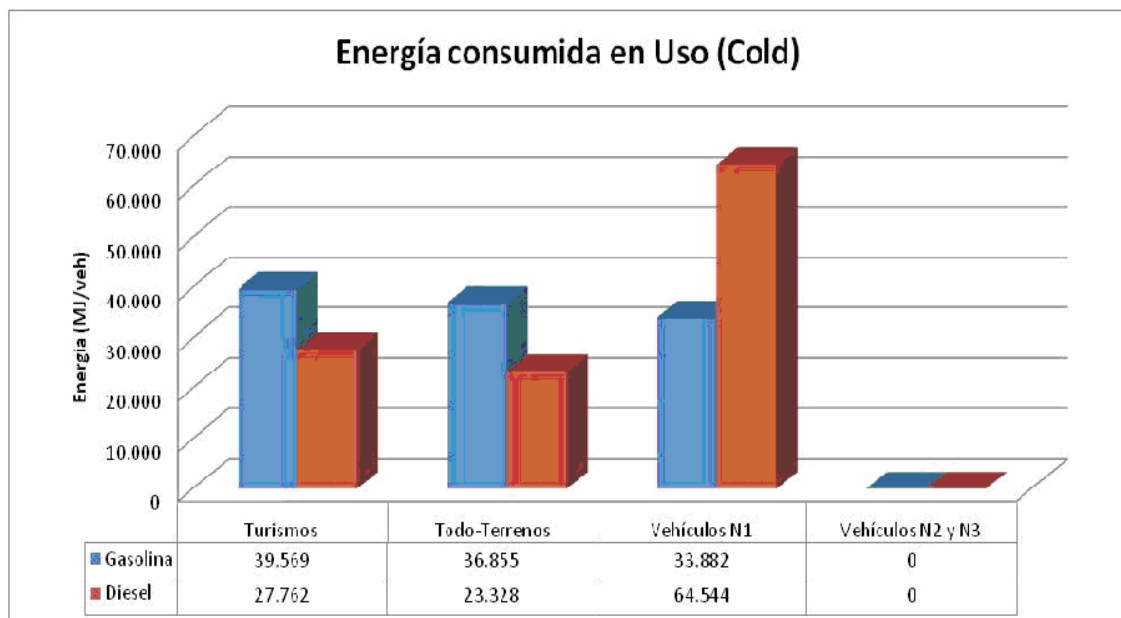
Gráfico 2: Emisiones CO₂ por uso en caliente



Fuente: Elaboración propia

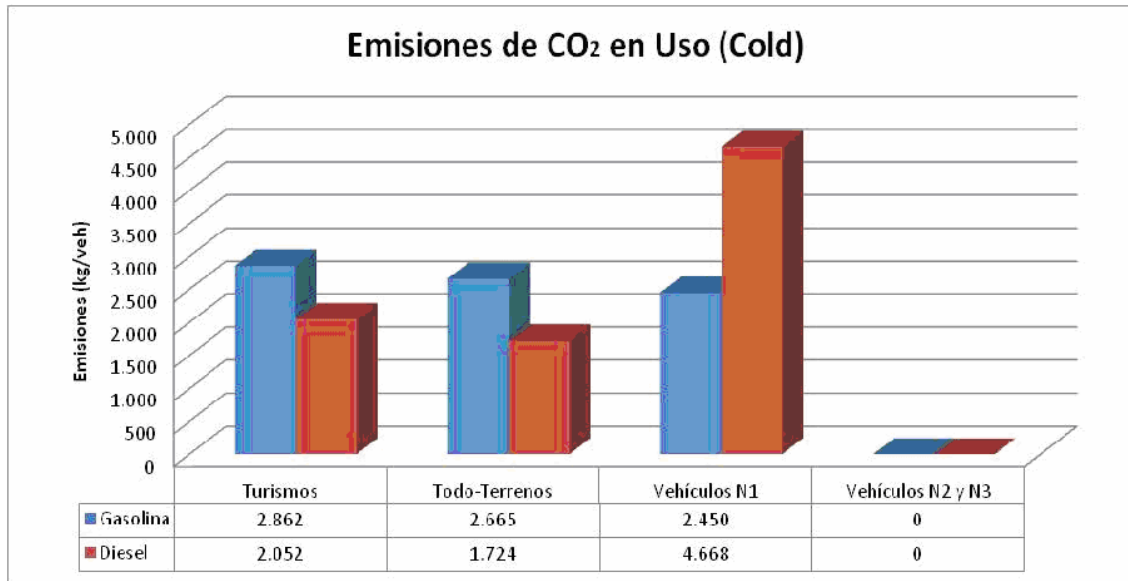
Esta es la contribución más importante a la etapa de uso, y como se puede ver, en términos absolutos los vehículos industriales pesados son claramente dominantes. También hay que tener en cuenta que se utilizan durante más tiempo.

Gráfico 3: Energía consumida por uso en frío



Fuente: Elaboración propia

Gráfico 4: Emisiones de CO₂ por uso en frío



Fuente: Elaboración propia

En este caso se puede comprobar que no existe la tendencia de los casos anteriores. Ahora la diferencia entre los turismos de gasolina y los de gasóleo es mayor. Esto se debe a la presencia del catalizador en este tipo de vehículos. Este dispositivo debe alcanzar una determinada temperatura de funcionamiento para ejercer correctamente su función. El tiempo extra que se necesita para tal efecto se contabiliza también como tiempo en frío, circunstancia que no existe en los vehículos de gasóleo. Esto hace que los consumos por arranque sean menores en este último tipo de vehículos.

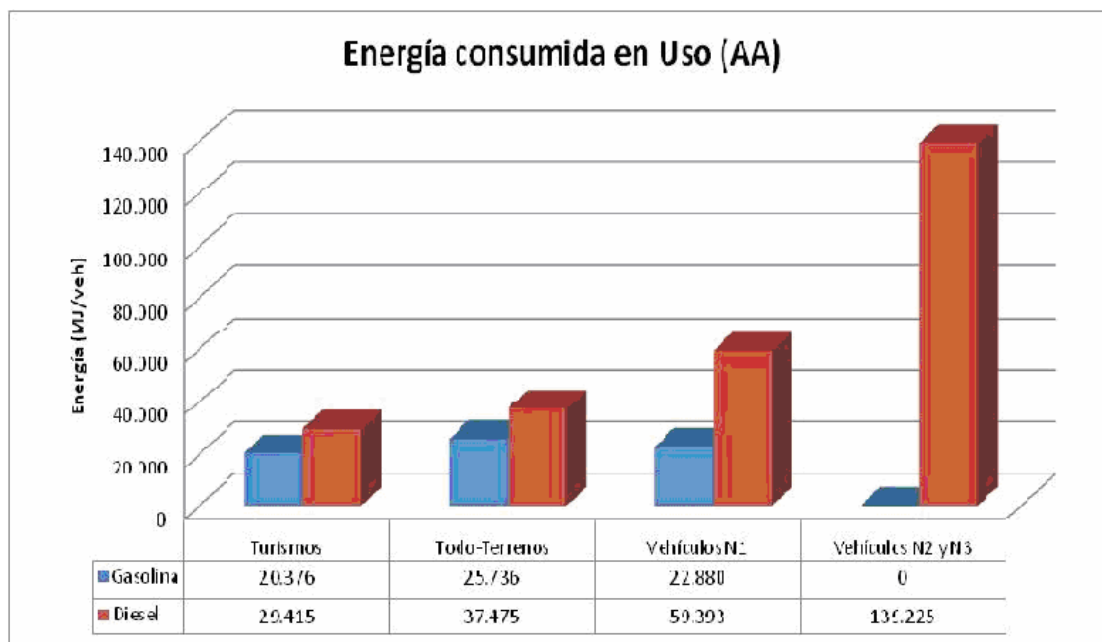
Por otro lado, y debido a que se ha supuesto un número concreto de arranques al año, y un número de años de vida útil para cada vehículo, existe una diferencia entre los turismos y los todo-terrenos. A priori, dado que el tamaño de estos últimos es mayor, se esperaría que el consumo y las emisiones fueran mayores. Sin embargo, al tener de media estos vehículos 14 años de vida útil frente a los 15 de los turismos¹. Esto hace que los resultados sean diferentes a lo esperado.

Por otro lado, los vehículos N1 tienen un tamaño muy superior, lo que hace que su consumo frío también sea mayor. Para los vehículos N2 y N3 no existe información suficiente para hacer una aproximación, como ya se ha comentado, por lo que desgraciadamente no se puede comparar este segmento con el resto.

Se ha comprobado que estos valores están dentro del orden de magnitud de los ofrecidos por COPERT, comparándolos en condiciones equivalente.

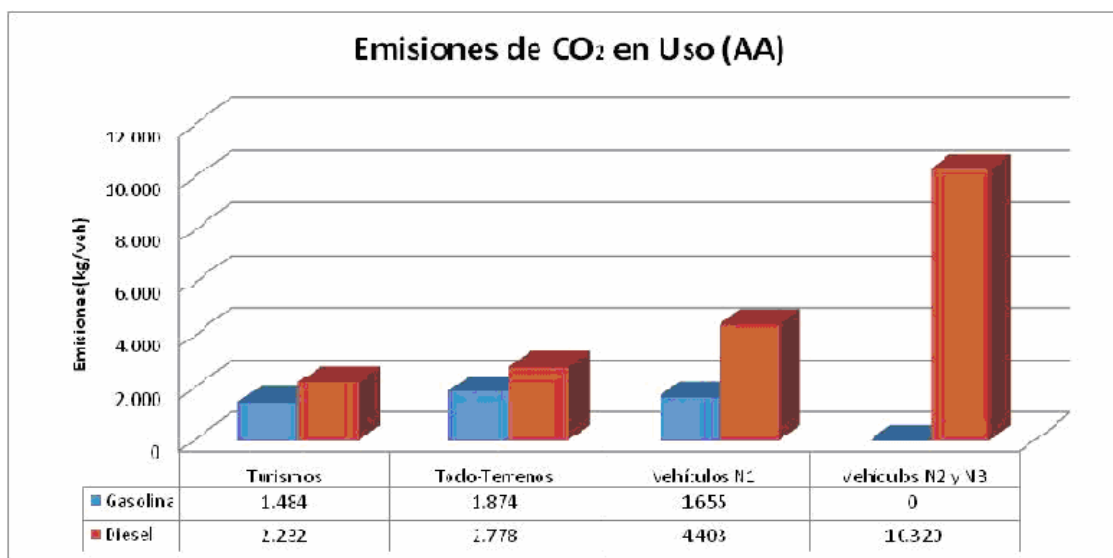
¹ SIGRAUTO (2008)

Gráfico 5: Energía consumida en uso de auxiliares



Fuente: Elaboración propia

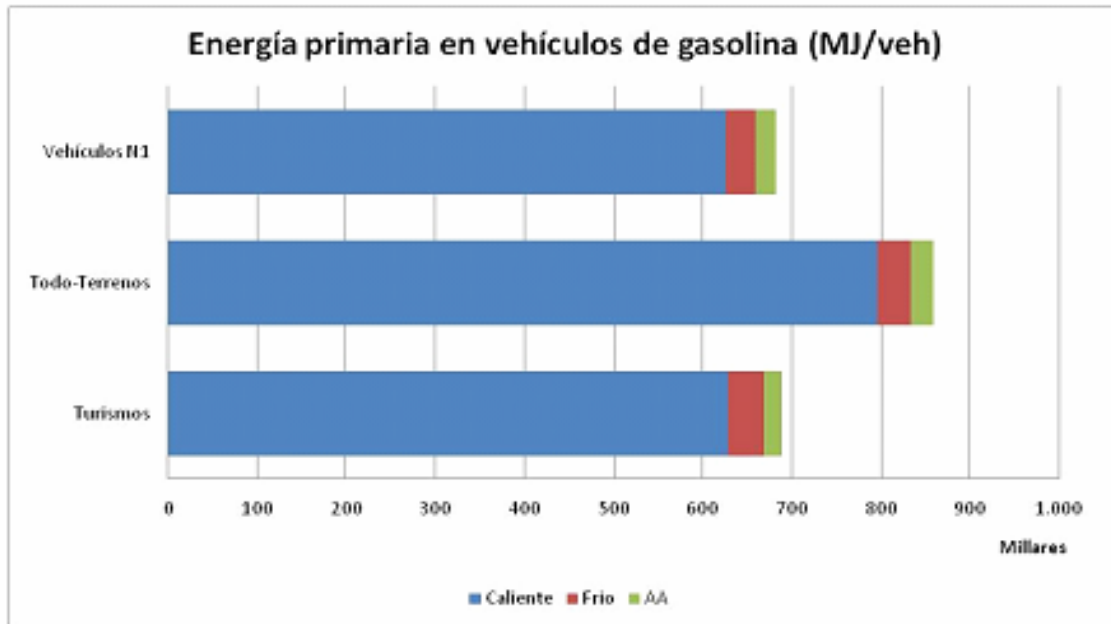
Gráfico 6: Emisiones de CO₂ en uso de auxiliares



Fuente: Elaboración propia

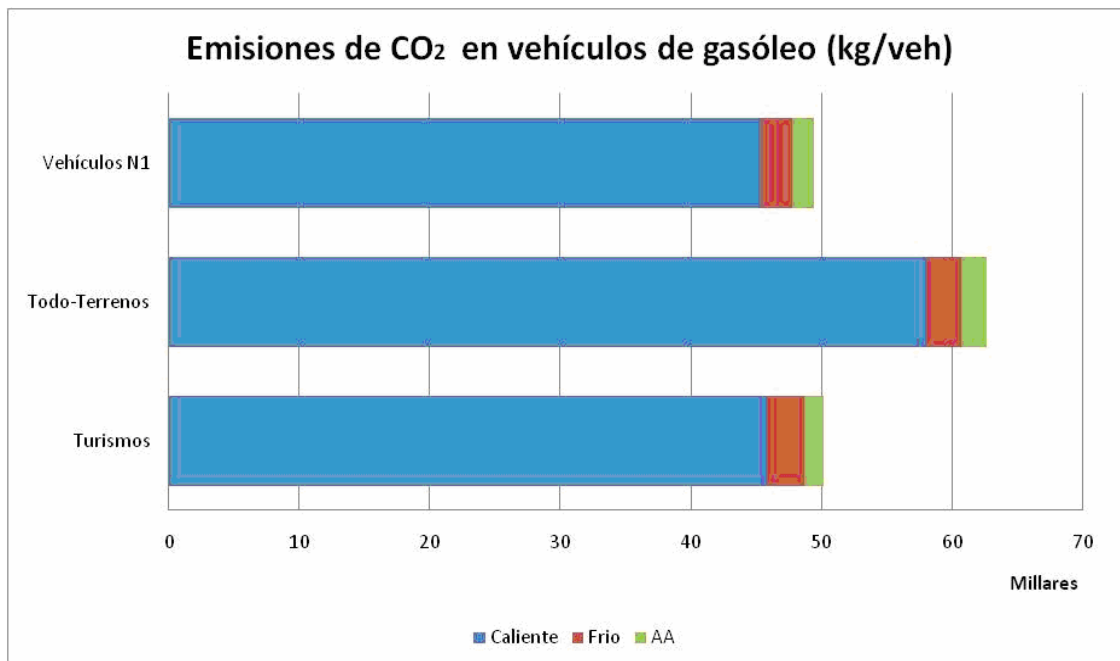
Por último, en lo relativo al desglose de consumos en la etapa de uso, tenemos el correspondiente a los auxiliares (aire acondicionado principalmente). Se puede observar que siguen la tendencia esperada, siendo indirectamente proporcionales al tamaño del vehículo. En cualquier caso, son muy pequeños si se los compara con las emisiones en caliente, por lo que no se ha hecho especial énfasis en la exactitud del modelo en este apartado.

Gráfico 7: Energía consumida en uso para vehículos de gasolina



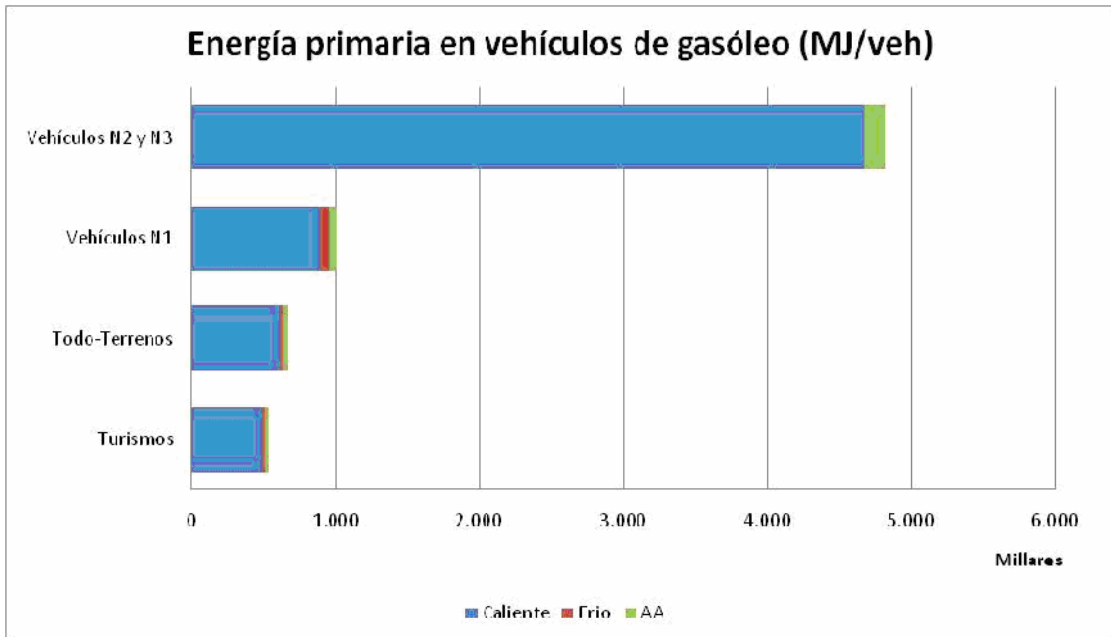
Fuente: Elaboración propia

Gráfico 8: Emisiones de CO₂ totales en uso para vehículos de gasolina



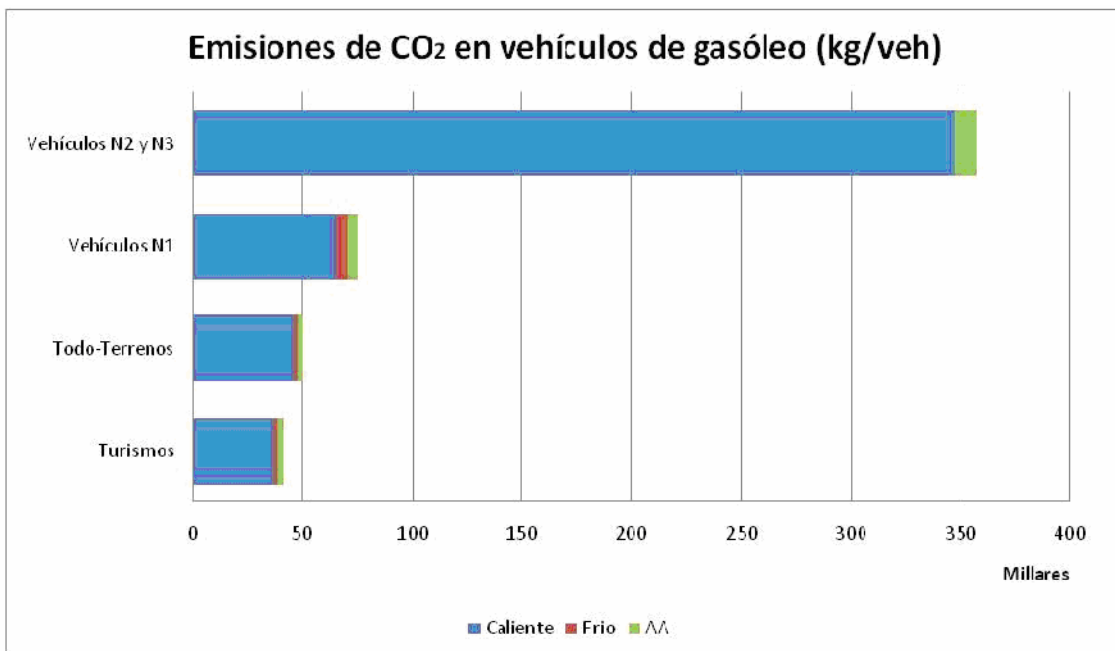
Fuente: Elaboración propia

Gráfico 9: Energía total consumida en uso para vehículos de gasóleo



Fuente: Elaboración propia

Gráfico 10: Emisiones de CO₂ totales en uso para vehículos de gasóleo



Fuente: Elaboración propia

Como ya se había explicado, los consumos y emisiones en caliente son claramente predominantes sobre el resto, suponiendo alrededor de un 90% del total de emisiones en uso para vehículos diesel; esta proporción se desvía en los vehículos N2/N3, ya que no se ha contabilizado en ellos el funcionamiento en frío. En vehículos de gasolina esta proporción es ligeramente mayor, un 92%. Por otro lado, los consumos en frío en vehículos diesel es de alrededor del 5%, y el 5% restante corresponde a los auxiliares. En vehículos de gasolina la proporción dedicada al aire acondicionado es ligeramente menor, suponiendo alrededor de un 3% del total, manteniéndose la proporción de consumos en frío con respecto a los diesel.

Se ha puesto de manifiesto la gran influencia que tiene el tamaño de cada vehículo sobre el consumo final, comprobando que, por ejemplo, un vehículo todo-terreno de gasóleo en las mismas condiciones que un turismo, consume un 25% más que éste, y en gasolina la diferencia es aproximadamente la misma. Comparando vehículos industriales, un vehículo N2/N3 consume casi 5 veces más que uno N1, sabiendo además que en los primeros la carga útil es mucho mayor y que además su tiempo estimado de vida también es mayor.

Si se compara vehículos equivalentes de distinta motorización, se encuentra que los que tienen motor de gasóleo, a pesar de contar con un peso ligeramente mayor, consumen menos en las mismas condiciones: un 21% menos para turismos y un 20% menos en todo-terrenos. Bien es cierto que las características de unos y otros, en el segmento de todo-terreno, no son exactamente equivalentes. Sí son prácticamente idénticas en los turismos, siempre hablando de aquellas que afectan al consumo.

También se ha puesto de relieve la gran importancia que tiene la situación del tráfico. Cuantas más paradas, aceleraciones y frenadas tenga un recorrido por las condiciones de circulación, mayor será el consumo, especialmente en vehículos de gran tamaño, por lo que es recomendable que el tráfico sea lo más fluido posible, circunstancia especialmente difícil de conseguir en las grandes ciudades.

En cambio en autovía/autopista la situación es la contraria, cuanto mayor sea la velocidad, mayor será el consumo debido a la resistencia aerodinámica, aunque en este caso se asocia la velocidad con carreteras seguras, con pocas curvas, por lo que hay que tener en cuenta todos los efectos del tipo de infraestructuras.

Como medidas necesarias para reducir los consumos se encuentran, por ejemplo:

- Reducir el peso de los vehículos: Es la más importante, ya que afecta mucho al consumo en movimiento, pero también a otras etapas del ciclo de vida.
- Incluyendo marchas más largas en los vehículos: Es una medida que ya se aplica al diseñar un vehículo y que permite circular por autovía a un régimen menor del motor, aunque en general una conducción que tenga en cuenta este efecto es beneficioso.
- Usando lo menos posible el aire acondicionado: Es complicado debido a las cada vez mayores temperaturas que se registran en nuestro país. Esto tiene que ver con el comportamiento del conductor o acompañantes. En cualquier caso es necesario modificar el ensayo de homologación para tener en cuenta este consumo extra.
- Reduciendo la deportividad de los vehículos: Se refiere a la relación peso/potencia o peso/par, si es menor se reduce el consumo. Esto tiene que ver con las tendencias de mercado.
- Usando lo menos posible el aire acondicionado: Es complicado debido a las cada vez mayores temperaturas que se registran en nuestro país. Esto tiene que ver con el comportamiento del conductor o acompañantes.
- Aumentar la velocidad media en ciudades y disminuirla en autovía: Esto se refiere al diseño de las infraestructuras.

BIBLIOGRAFÍA

Álvarez Pelegry, Eloy y Balbás Peláez, Jacobo (2003): *El Gas Natural: del yacimiento al consumidor. Aprovechamientos y cadena del gas natural licuado*. CIE Inversiones Editoriales Dossat-2000, S.L.

García Álvarez, A. (2006): *Usos de la energía en el transporte*. Fundación de los Ferrocarriles Españoles.

CIEMAT (2005): *Análisis del Ciclo de Vida de Combustibles alternativos para el Transporte. Fase I. Análisis de Ciclo de Vida Comparativo del Etanol de Cereales y de la Gasolina*. Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas, Madrid (2005).

CIEMAT (2006). *Análisis del Ciclo de Vida de Combustibles alternativos para el Transporte. Fase II. Análisis de Ciclo de Vida Comparativo del Biodiésel y del Diésel*. Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas, Madrid (2006).

CORES, (2006). *Boletín Estadístico de Hidrocarburos. Resumen año 2005*. Corporación de Reservas Estratégicas de Productos Petrolíferos (Junio 2006).

CNE (2004). *Informe sobre la situación de los gases licuados del petróleo como carburante de automoción en España*. Comisión Nacional de la Energía

Hickman, A. J. (1999). *Methodology for Calculation Transport Emissions and Energy Consumption*. Project Report SE/491/98. Transport Research Laboratory.

GM WTW (2002) Choudhury, Raj (2002). *GM Well-To-Wheel Analysis of energy use and greenhouse gas emissions of advanced fuel/ vehicle systems - A European study*. L-B-System GmbH.

Shell (2001): *Shell's inputs to the BM-BST LCA Study*. Octubre 2001.

Shell (2002): *Shell's inputs to the BM-BST LCA Study*. Abril 2002.

TotalFinaElf (2001): TotalFinaElf. Noviembre 2001

TotalFinaElf (2002): TotalFinaElf. Enero 2002

Kaefer (1996): Kaefer Isoliertechnik: LNG-Tankschiff, 1996.

Hanjin (2000): Hanjin Ras Laffan's Maiden Voyage: Linkage Spetember 2000.

SDC (2001): Jensen, Ship Design and Consult. Hamburg, diciembre 2001.

FfE (1997): Mauch, W. Forschungstelle für Energiewirtschaft (FfE), Fröchtenicht, R.; BMW AG; Energieaufwand und Kosten für die Bereitstellung von Erdgas als CNG und LNG, VDE/VDI/GFPE - Tagungsband der Schliersee-Tagung "*Dezentrale, zentrale und globale Energiesystemen - Bausteine eines optimierten Energieverbunds*"; April 1997.

GEMIS (2001): GEMIS (Global Emission Model of Integrated Systems), versión 4.07, 2001 <http://www.oeko-institut.org/services/gemis/index.htm>

Mandil, Claude. *Manual de estadísticas energéticas*. Agencia Internacional de la energía.

Peris Mingot, Antoni (2007). *Balance energético. El sector del gas. 2006*. Sedigas.

Peris Mingot, Antoni (2007). *Informe anual 2006*. Sedigas.

Llardén Carratalá, Antonio (2007) *Informe anual 2006*. Enagás.

Real Decreto 61/2006, de 31 de enero, por el que se determinan las especificaciones de gasolinas, gasóleos, fuelóleos y gases licuados del petróleo y se regula el uso de determinados biocarburantes. (BOE n. 41 de 17/2/2006).

Yunta Huete, Raúl (2005). *La liberalización del sector del gas natural*. Comisión Nacional de Energía.

UAM (2007): ***Informe sobre el tráfico internacional y el consumo de carburante en el sector aeronáutico***. Grupo de Investigación en consumo energético del transporte aéreo de la Universidad Autónoma de Madrid. Nota Técnica EnerTrans. Diciembre de 2007.

U.OVIEDO (2008): ***Informe sobre el tráfico y el consumo de carburante en el sector marítimo en España***. Grupo de investigación en consumo energético del transporte marítimo de la Universidad de Oviedo. Nota Técnica EnerTrans. Enero 2008.

López, J.M. (2007). ***El automóvil y el medio ambiente. El reto del vehículo automóvil frente a la reducción global del CO₂***. Editorial Cie-Dossat. ISBN: 978-84-96437-70-8.

LISTA DE TABLAS Y FIGURAS

Turismos y TT.....	7
Vehículos N1	8
Vehículos N2 Y N3	9
Turismos, TT y vehículos N1	10
Vehículos N2 y N3	11
Tabla 1: Temperaturas medias en España	48
Figura 1: Relación entre la temperatura exterior y la potencia requerida del A/A... 51	51
Tabla 2: Consumo de combustible debido al aire acondicionado (l/100km)	51
Tabla 3: Emisiones de CO ₂ debido al aire acondicionado (g/km)	51
Tabla 4: Proporción entre consumo de AA y consumo en caliente (%)	52
Tabla 5: Resultados de consumo y emisiones por uso en vehículos de gasolina	53
Tabla 6: Resultados de consumo y emisiones por uso en vehículos de gasóleo	54
Gráfica 1: Energía consumida por uso en caliente.....	54
Gráfico 2: Emisiones CO ₂ por uso en caliente	55
Gráfico 3: Energía consumida por uso en frío	55
Gráfico 4: Emisiones de CO ₂ por uso en frío	56
Gráfico 5: Energía consumida en uso de auxiliares.....	57
Gráfico 6: Emisiones de CO ₂ en uso de auxiliares.....	57
Gráfico 7: Energía consumida en uso para vehículos de gasolina	58
Gráfico 8: Emisiones de CO ₂ totales en uso para vehículos de gasolina.....	58
Gráfico 9: Energía total consumida en uso para vehículos de gasóleo	59
Gráfico 10: Emisiones de CO ₂ totales en uso para vehículos de gasóleo	59

Documentos del Proyecto EnerTrans

Monografías EnerTrans

Monografía 1: “El sistema español de transporte y sus impactos sobre la sostenibilidad”: José Ignacio Pérez Arriaga, Eduardo Pilo de la Fuente, Ignacio de L. Hierro Ausín

Monografía 2: “Usos de la energía en el transporte”: Alberto García Álvarez, M^a del Pilar Martín Cañizares

Monografía 3: “Modelos de consumos y emisiones: Estado del arte”: Timoteo Martínez Aguado, Aurora Ruiz Rúa, Ana Isabel Muro

Monografía 4: “Análisis de las estadísticas de consumos energéticos y emisiones de CO₂ en el transporte”: Alberto Cillero, Paula Bouzada Outeda

Monografía 5: “Tablas input-output relacionadas con las estadísticas de consumos y emisiones en el transporte”: Timoteo Martínez Aguado, Aurora Ruiz Rúa, Ana Isabel Muro Rodríguez

Monografía 6: “Métrica y estandarización de los consumos y emisiones en el transporte”: Alberto Cillero Hernández, Paula Bouzada Outeda, Alberto García Álvarez, M^a del Pilar Martín Cañizares

Monografía 7: “Incremento de recorrido en el transporte por longitud de caminos, operación y gestión”: Alberto Cillero Hernández, Paula Bouzada Outeda, Alberto García Álvarez, M^a del Pilar Martín Cañizares

Monografía 8: “Flujos del petróleo y del gas natural para el transporte”: José M^a López Martínez, Javier Sánchez Alejo, Álvaro Gómez, Ángel Fernández.

Monografía 9: “Flujos de la energía de la electricidad para el transporte”: Eduardo Pilo de la Fuente, José Ignacio Pérez Arriaga, Ignacio de L. Hierro Ausín, Jesús Jiménez Octavio

Monografía 10: “Consumo de energía y emisiones asociadas a la construcción y mantenimiento de infraestructuras”: Timoteo Martínez, M^a José Calderón Milán, Ana Isabel Muro Rodríguez

Monografía 11: “Consumo de energía y emisiones asociadas a la construcción y mantenimiento de vehículos”: José M^a López Martínez, Javier Sánchez Alejo

Monografía 12: “Consumo de energía y emisiones asociadas al transporte por coche y camión”: José María López Martínez, Javier Sánchez Alejo

Monografía 13: “Consumo de energía y emisiones asociadas al transporte por autobús y autocar”: Alberto Cillero Hernández, Gustavo Martinelli, Paula Bouzada Outeda

Monografía 14: “Consumo de energía y emisiones asociadas al transporte por avión”: Grupo de investigación en consumo energético del transporte aéreo de la Universidad Autónoma de Madrid

Monografía 15: “Consumo de energía y emisiones asociadas al transporte por barco”: Grupo de investigación del transporte marítimo de la Fundación Universidad de Oviedo

Monografía 16: “Consumo de energía y emisiones asociadas al transporte por ferrocarril”: Alberto García Álvarez, M^a del Pilar Martín Cañizares

Monografía 17: “Consumo de energía y emisiones asociadas al transporte por tubería”: Manuel Cegarra Plané

Monografía 18: “ENERTRANS: Modelo de cálculo y predicción de los consumos energéticos y emisión del sistema de transporte que permita valorar la sensibilidad de los consumos a las decisiones de inversión en infraestructura y de política de transporte”: Grupo de investigación del proyecto Enertrans

Notas técnicas EnerTrans

Nota técnica 1: “Introducción al transporte por tubería”: Manuel Cegarra Plané

Nota técnica 2: “Informe sobre el tráfico internacional y el consumo de carburante en el sector aeronáutico”: Grupo de investigación en consumo energético del transporte aéreo de la Universidad Autónoma de Madrid

Nota técnica 3: “Informe sobre el suministro de combustible en los aeropuertos en España”: Grupo de investigación en consumo energético del transporte aéreo de la Universidad Autónoma de Madrid

Nota técnica 4: “Estudio sobre las variables que influyen en el incremento de recorridos o incidencia del cociente entre trayectoria y desplazamiento en el transporte aéreo”: Grupo de investigación en consumo energético del transporte aéreo de la Universidad Autónoma de Madrid

Nota técnica 5: “Estudio sobre las variables que influyen en el incremento de recorridos o incidencia del cociente entre trayectoria y desplazamiento en el transporte ferroviario”: Alberto García Álvarez, Eduardo Fernández González

Nota técnica 6: “Estudio sobre las variables que influyen en el incremento de recorridos o incidencia del cociente entre trayectoria y desplazamiento en el transporte por tubería”: Manuel Cegarra Plané

Nota técnica 7: “Informe sobre el tráfico español y el consumo de carburante en el sector marítimo”: Grupo de investigación del transporte marítimo de la Fundación Universidad de Oviedo

Nota técnica 8: “Análisis de documentación referida al transporte marítimo”: Grupo de investigación del transporte marítimo de la Fundación Universidad de Oviedo

Nota técnica 9: “Aspectos generales del transporte marítimo”: Grupo de investigación del transporte marítimo de la Fundación Universidad de Oviedo

Nota técnica 10: “Características de la navegación marítima”: Grupo de investigación del transporte marítimo de la Fundación Universidad de Oviedo

Nota técnica 11: “Consumo de los servicios auxiliares en el automóvil”: José M^a López Martínez, Juan José Herrero

Nota técnica 12: “Notas sobre los valores del coeficiente de resistencia a la rodadura”: José M^a López Martínez, Juan José Herrero

Nota técnica 13: “Tipos de aeronaves según su compañía constructora”: Grupo de investigación en consumo energético del transporte aéreo de la Universidad Autónoma de Madrid

